



**TUGAS AKHIR - SS 145561**

**ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS  
STATISTIKA PRODUK SEMEN TIPE PPC  
DI PT. SEMEN GRESIK (Persero) Tbk.**

**Lutfi Intan Anggraeni  
NRP 1314 030 103**

**Dosen Pembimbing  
Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT**

**DEPARTEMENT STATISTIKA BISNIS  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**





**TUGAS AKHIR - SS 145 561**

**ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS  
STATISTIKA PRODUK SEMEN TIPE PPC  
DI PT. SEMEN GRESIK (Persero) Tbk.**

**Lutfi Intan Anggraeni  
NRP 1314 030 103**

**Dosen Pembimbing  
Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT**

**DEPARTEMENT STATISTIKA BISNIS  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**



**FINAL PROJECT - SS 145 561**

**ANALYSIS STATISTICAL QALITY CONTROL  
PRODUCT CEMENT PPC IN PT. SEMEN GRESIK  
(Persero) Tbk**

**Lutfi Intan Anggraeni  
NRP 1314 030 103**

**Supervisor  
Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT**

**DEPARTMENT OF BUSINESS STATISTICS  
Faculty Of Vocational  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS  
STATISTIKA PRODUK SEMEN TIPE PPC DI PT.  
SEMEN GRESIK (Persero) Tbk**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Ahli Madya pada  
Departemen Statistika Bisnis  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**LUTFI INTAN ANGGRAENI**  
**NRP 1314 030 103**

**SURABAYA, MEI 2017**

Menyetujui,  
Pembimbing Tugas Akhir

**Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT**  
**NIP. 19610311 198701 2 001**

Mengetahui,  
Kepala Departemen Statistika Bisnis  
Fakultas Vokasi ITS

**Dr. Wahyu Wibowo, S.Si., M.Si.**  
**NIP. 19740328 199802 1 001**

DEPARTEMEN  
STATISTIKA BISNIS

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS STATISTKA  
PRODUK SEMEN TIPE PPC DI PT SEMEN GRESIK  
(Persero) Tbk**

**Nama Mahasiswa : Lutfi Intan Anggraeni**  
**NRP : 1314 030 103**  
**Departemen : Statistika Bisnis ITS**  
**Dosen Pembimbing : Dra. Sri Mumpuni R., M.T**

**Abstrak**

*PT Semen Gresik merupakan salah satu perusahaan semen yang terkemuka dengan banyak produk dimana semen PPC adalah salah satu produk yang dihasilkan dengan karakteristik kualitas Blaine, Mesh, dan  $SO_3$ . Selama ini pengendalian kualitas pada proses produksi semen PPC menggunakan peta kendali univariat padahal karakteristik kualitas produk lebih dari satu dan saling berhubungan, selain itu pada shift yang berbeda diduga menghasilkan kualitas produk yang berbeda. Oleh karena itu, pengendalian kualitas yang digunakan adalah peta kendali multivariat dengan menggunakan peta kendali generalized variance untuk memonitoring variabilitas, dan peta kendali  $T^2$  Hotelling untuk memonitoring mean, serta analisis kapabilitas proses untuk mengetahui bahwa hasil proses produksi apakah kapabel. Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antar shift pagi siang, dan malam yang berpengaruh terhadap variabel kualitas Blaine, Mesh, dan  $SO_3$ . Kemampuan proses produksi semen PPC sudah kapabel dengan baik karena nilai  $C_p$  pada shift pagi sebesar 3,90884, nilai  $C_p$  shift siang sebesar 3,23746, dan nilai  $c_p$  pada shift malam sebesar 4,00038.*

**Kata Kunci :** *Kapabilitas Proses, MANOVA, Peta Kendali Generalized Variance, Peta Kendali  $T^2$  Hotelling*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **ANALYSIS STATISTICAL QUALITY CONTROL PRODUCT CEMENT PPC IN PT SEMEN GRESIK (Persero) Tbk**

**Student Name** : Lutfi Intan Anggraeni  
**NRP** : 1314 030 103  
**Department** : Bussiness Of Statistics ITS  
**Academic Supervisor** : Dra. Sri Mumpuni R., M.T

## **Abstract**

*PT Semen Gresik is one of the leading cement companies with many products where PPC cement is one of the products produced with the quality characteristics of Blaine, Mesh, and S03. So far, quality control in the PPC cement production process uses univariate control chart when the quality of product kararakteristik more than one and interrelated, in addition to different shifts allegedly produce different product quality. Therefore, the quality control used is a multivariate control chart using generalized variance control charts to monitor variability, and T2 Hotteling control charts to monitor the mean, as well as process capability analysis to know whether the production process results in whether it is capable. The results of the analysis show that there are differences between morning, morning and evening shifts that affect the quality variables Blaine, Mesh, and S03. The capability of PPC cement production process has been well managed because Cp value in morning shift is 3.90884, Cp shift value is 3.23746, and cp value at night shift is 4,00038.*

**Keywords** : Process Capability, MANOVA, Generalized Variance Control, T2 Hotelling Control.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **“Analisis Pengendalian Kualitas Statistika Produk Semen Tipe PPC di PT. Semen Gresik (Persero) Tbk”**. Penulis mengucapkan terimakasih kepada beberapa pihak yang membantu dalam penyusunan laporan tugas akhir yaitu sebagai berikut.

1. Ibu Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT selaku dosen pembimbing dan sekaligus dosen wali yang senantiasa membimbing, memberikan nasihat, motivasi dan memberi pengarahan sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu
2. Ibu Ir. Sri Pingit Wulandari, M.Si dan Mike Prastuti, S.Si, M.Si selaku penguji yang telah memberikan kritik dan saran demi menyempurnakan Laporan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Wahyu Wibowo, S.Si, M.Si selaku kepala Departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Ibu Dr. Santi Wulan Purnami, S.Si, M.Si selaku dosen wali yang merupakan orang tua bagi penulis selama 5 semester perkuliahan dan senantiasa memberikan motivasi dan semangat pada tiap semesternya.
5. Seluruh Dosen Departemen Statistika Bisnis ITS yang telah memberikan ilmu selama penulis menempuh pendidikan, beserta seluruh karyawan yang telah membantu kelancaran dan kemudahan dalam pelaksanaan kegiatan perkuliahan
6. Ibu Rini Mers Nurdijati, SH selaku Staff Sumber Daya Manusia PT. Semen Gresik yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melaksanakan penelitian di PT. Semen Gresik.

7. Bapak Heru Sasono, ST dan Bapak Join Trimana, ST selaku pembimbing lapangan yang telah memberikan bimbingan selama pengambilan data untuk Tugas Akhir ini.
8. Kedua orang tua Ayah tercinta Purwanto Urip dan Ibu Tersayang Sriutami yang selalu memberikan doa, bimbingan, dukungan, kasih sayang serta kesabarannya dalam mendidik baik secara materiil, moril, maupun spiritual.
9. Seseorang yang senantiasa memberikan semangat, doa, dukungan, dan mendengarkan curahan hati penulis ketika penulis sedang dalam kondisi patah semangat selama proses penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.
10. Sahabat terbaik selama kuliah, Nida Rifatul Haniah yang selalu memberikan dukungan untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir ini, semangat serta hiburan saat bertukar cerita baik susah maupun duka selama kuliah.
11. Teman-teman PIONEER Departemen Statistika Bisnis Angkatan 2014 yang telah bekerja sama dengan baik selama penulis menempuh pendidikan, serta memberikan pengalaman dan kenangan yang berharga bagi penulis.

Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar laporan ini dapat mencapai kesempurnaan serta dapat dijadikan pertimbangan dalam pengerjaan laporan berikutnya. Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Mei 2017

Penulis

# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Analisis Multivariat.....	5
2.1.1 Independensi Antar Variabel .....	5
2.1.2 Distribusi Normal Multivariat.....	6
2.1.3 Homogenitas Matriks Varian Kovarians .....	7
2.1.4 <i>Multivariate Analysis of Variance</i> (MANOVA).....	8
2.2 Pengendalian Kualitas Statistika.....	10
2.2.1 Peta Kendali <i>Generalized Variance</i> .....	11
2.2.1 Peta Kendali $T^2$ Hotteling.....	12
2.5 Diagram <i>Ishikawa</i> (Sebab Akibat) .....	13
2.6 Kapabilitas Proses .....	14
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Sumber Data.....	17
3.2 Variabel Penelitian .....	17
3.3 Struktur Data .....	18
3.4 Langkah Analisis .....	20
3.4 Diagram Alir .....	21

## **BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

4.1 Analisis Multivariat.....	23
4.1.1 Independensi antar Variabel .....	23
4.1.2 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat .....	23
4.1.3 Pemeriksaan Homogenitas Matriks Varians Kovarians.....	24
4.1.4 <i>Multivariate Analysis of Variance</i> (MANOVA).....	25
4.2 Analisis Pengendalian Proses <i>Mean</i> dan Varians.....	26
4.2.1 Peta Kendali <i>Generalized Variance</i> .....	26
4.2.2 Peta Kendali $T^2$ Hotelling .....	28
4.3 Diagram Ishikawa.....	32
4.4 Kapabilitas Proses .....	35
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	37
5.2 Saran.....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	39
<b>LAMPIRAN</b> .....	41

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Diagram Ishikawa .....	14
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir .....	21
<b>Gambar 4.1</b> <i>Q-Q Plot</i> .....	24
<b>Gambar 4.2</b> Peta Kendali <i>Generalized Variance</i> <i>Shift Pagi</i> .....	26
<b>Gambar 4.3</b> Peta Kendali <i>Generalized Variance</i> <i>Shift siang</i> .....	27
<b>Gambar 4.4</b> Peta Kendali <i>Generalized Variance</i> <i>Shift Malam</i> .....	28
<b>Gambar 4.5</b> Peta Kendali $T^2$ Hotteling <i>Shift Pagi</i> .....	28
<b>Gambar 4.6</b> Peta Kendali $T^2$ Hotteling <i>Shift Pagi</i> telah Terkendali.....	29
<b>Gambar 4.7</b> Peta Kendali $T^2$ Hotteling <i>Shift Siang</i> .....	30
<b>Gambar 4.8</b> Peta Kendali $T^2$ Hotteling <i>Shift Siang</i> telah Terkendali.....	31
<b>Gambar 4.9</b> Peta Kendali $T^2$ Hotteling <i>Shift Malam</i> .....	31
<b>Gambar 4.10</b> Peta Kendali $T^2$ Hotteling <i>Shift Malam</i> telah Terkendali.....	32
<b>Gambar 4.11</b> Faktor Penyebab Tidak Terkendalinya Proses Produksi Semen PPC.....	33

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> MANOVA .....	8
<b>Tabel 2.2</b> Distribusi <i>Wilks' Lamda</i> .....	9
<b>Tabel 2.2</b> Distribusi <i>Wilks' Lamda</i> (Lanjutan) .....	10
<b>Tabel 3.1</b> Variabel Penelitian .....	17
<b>Tabel 3.1</b> Struktur Data.....	18

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran A</b> Surat Perijinan Pengambilan Data.....	41
<b>Lampiran B</b> Surat Pernyataan Pengambilan Data .....	42
<b>Lampiran C</b> Data Analisis .....	43
<b>Lampiran D</b> Data Proses Produksi Semen PPC Bulan Januari 2017 Berdasarkan Shift Kerja.....	47
<b>Lampiran E</b> Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat.....	50
<b>Lampiran F</b> Uji Independensi Antar Variabel.....	53
<b>Lampiran G</b> <i>Output Software</i> Homogenitas Matriks Varian Kovarian .....	54
<b>Lampiran H</b> Uji MANOVA .....	54
<b>Lampiran I</b> Peta Kendali <i>Generalized Variance</i> .....	56
<b>Lampiran J</b> Peta Kendali $T^2$ Hotteling .....	59
<b>Lampiran K</b> Kapabilitas Proses .....	65

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Persaingan di dunia industri saat ini mulai ketat dikarenakan adanya kompetitor yang selalu berdatangan dan membuat masing-masing dari suatu industri pun menyiapkan berbagai persiapan agar produk yang mereka hasilkan dapat bersaing. PT. Semen Gresik merupakan perusahaan yang bergerak dibidang industri semen yang beralokasi di Desa Sumber Arum, Kecamatan Kerek, Kabupaten Tuban, Jawa Timur, Indonesia. Produk utama yang diproduksi adalah semen tipe OPC (*Ordinary Portland Cement*) dan semen tipe PPC (*Portland Pozzolan Cement*). Dari segi kekuatan lekatan yang ada, semen tipe OPC memiliki kekuatan lekatan lebih besar dibandingkan tipe semen PPC, namun semen tipe OPC ini jarang ditemui langsung dipasaran (toko bangunan terdekat) sedangkan produk semen yang tersedia di pasaran dan paling banyak diproduksi adalah semen tipe PPC yang digunakan sebagai pembangunan di Indonesia diantaranya perumahan, dermaga, bendungan, dan bangunan irigasi.

Karakteristik kualitas produk semen PPC yang diukur adalah *Blaine*, *Mesh*, dan  $SO_3$ . Variabel *Blaine* digunakan untuk mempercepat laju reaksi semen dan laju pengerasan semen, variabel *Mesh* digunakan untuk menjaga kekuatan tekan semen untuk waktu yang lama, dan variabel  $SO_3$  digunakan untuk mengatur waktu pengikatan dan penyebab pemuaihan. Ketiga karakteristik kualitas tersebut jika keluar dari standart yang telah ditentukan akan menyebabkan kehalusan dari semen tidak stabil dan produksi tidak maksimal.

Pengendalian kualitas yang dilakukan selama ini oleh PT. Semen Gresik pada proses produksi semen PPC menggunakan peta kendali secara univariat padahal karakteristik kualitas produk dalam pembuatan semen lebih dari satu. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis inferensia secara multivariat terhadap proses

produksinya, hal ini dikarenakan pada penelitian ini ketiga variabelnya yang secara teori dimungkinkan saling berhubungan. Peta kendali secara multivariat pada penelitian ini dengan menggunakan diagram kontrol *generalized variance* untuk memonitoring variabilitas dan diagram kontrol  $T^2$  *Hotteling* untuk memonitoring vektor *mean* proses agar dapat menghasilkan proses produksi lebih terkendali menggunakan variabel yang lebih dari satu. Apabila hasil produksi telah terkendali secara statistik, dapat dilakukan analisis kapabilitas proses untuk mengetahui bahwa proses produksi yang berlangsung sudah kapabel atau belum. Kapabilitas proses bertujuan untuk menunjukkan kemampuan suatu proses dalam memenuhi batas spesifikasi yang telah ditetapkan oleh perusahaan. (Montgomery, 2013).

Penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan di PT. Semen Gresik oleh Damayanti (2011) menyatakan bahwa peta kendali univariat pada produksi semen tidak terkendali secara statistik, karena adanya titik pengamatan yang keluar dari batas kendali. Variabel yang paling menyebabkan *out of control* adalah *Blaine* (kehalusan semen). Penelitian dengan metode yang sama juga pernah dilakukan oleh Dwiwardani (2010) pada proses penggilingan akhir semen OPC dan PPC yang menghasilkan bahwa hasil pengujian vektor rata-rata proses dengan metode *Behrens-Fisher* menunjukkan bahwa perbedaan mesin mempengaruhi hasil variabel kualitas dan hasil dari peta kendali multivariat dapat dikatakan masih belum stabil karena pada peta kendali pada tiap-tiap faktor masing-masing mesin masih ditemukan pengamatan yang *out of control*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Produk semen PPC memiliki tiga karakteristik kualitas utama yaitu *Blaine*, Mesh, dan kadar S03 yang digunakan untuk produksi semen. Ketiga karakteristik kualitas tersebut jika keluar dari batas spesifikasi yang ditentukan akan menyebabkan kehalusan dari semen tidak stabil dan produksi tidak maksimal.

Selama ini departemen *Quality Control* melakukan pengendalian kualitas pada proses produksi semen PPC menggunakan peta kendali univariat, padahal karakteristik kualitas produk yang digunakan lebih dari satu dan saling berhubungan, selain itu pada *shift* yang berbeda diduga menghasilkan kualitas yang berbeda. Oleh karena itu, permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah apakah terdapat perbedaan *shift* berpengaruh terhadap karakteristik kualitas serta bagaimana kapabilitas proses produksi semen PPC dengan mengendalikan varian dengan diagram kontrol *generalized variance* dan mengendalikan *mean* proses menggunakan diagram kontrol  $T^2$  *Hotteling*?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis apakah perbedaan *shift* berpengaruh terhadap hasil proses produksi semen tipe PPC.
2. Menganalisis kapabilitas proses produksi semen PPC dalam menghasilkan semen yang berkualitas.

### 1.4 Manfaat

Manfaat yang akan diperoleh pada penelitian ini adalah perusahaan PT. Semen Gresik adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui apabila dilihat terdapat perbedaan *shift* kerja terhadap hasil proses produksi maka, pihak PT Semen Gresik bisa menerapkan strategi untuk mempertahankan loyalitas karyawan, meningkatkan kinerja karyawan, dan pengawasan khusus pada penyetelan mesin secara terus-menerus agar proses produksi berjalan dengan baik.
2. Dengan mengetahui kapabilitas proses maka dapat meningkatkan kualitas produk sedangkan ketika kemampuan proses kapabel maka harus dipertahankan kualitas produknya.

### **1.5 Batasan masalah**

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder hasil penggilingan akhir produksi semen PPC yang diperiksa di Laboratorim *Quality Control* (QC) pada seksi pengendalian proses di PT. Semen Gresik bulan Januari 2017.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Analisis Multivariat

Analisis multivariat merupakan analisis statistika pada data yang terdiri dari banyak variabel dan antar variabel saling berhubungan. Konsep dasar dari analisis multivariat adalah variabel-variabelnya harus berkorelasi dan data berdistribusi multivariat normal. Asumsi-asumsi yang harus dipenuhi pada analisis multivariat adalah independensi antar variabel, distribusi normal multivariat, dan homogenitas matriks varian kovarians yang akan dijelaskan sebagai berikut (Johnson dan Wincern, 2007).

#### 2.1.1 Independensi Antar Variabel

Variabel  $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_p$  dikatakan bersifat saling bebas jika matriks korelasi antar variabel membentuk matriks identitas sehingga untuk menguji kebebasan antar variabel ini digunakan metode *Bartlett* (Rencher, 2002). Metode *Barlett* memperlihatkan bahwa dua atau lebih kelompok data sampel besar dari populasi yang memiliki variansi yang sama. Hipotesis yang digunakan sebagai berikut.

Hipotesis

$H_0 : \mathbf{R} = \mathbf{I}$  (Variabel-variabel tidak saling berkorelasi)

$H_1 : \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$  (Variabel-variabel saling berkorelasi)

Statistik Uji:

$$\chi^2_{\text{hitung}} = - \left\{ n - 1 - \frac{2p + 5}{6} \right\} \ln |\mathbf{R}| \quad (2.1)$$

$p$  merupakan jumlah karakteristik kualitas,  $m$  adalah jumlah observasi, sedangkan  $\mathbf{R}$  adalah matriks korelasi antar variabel yang dinyatakan dengan persamaan 2.2

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Dimana:

$$r_{i,j} = \frac{\sum_{j=1}^n (X_{ji} - \bar{x}_i)(X_{jk} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (X_{ji} - \bar{x}_i)^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n (X_{jk} - \bar{x}_k)^2}} \quad (2.3)$$

$H_0$  ditolak, apabila  $p_{\text{value}} < \alpha$  atau  $\chi^2_{\text{hitung}} > \chi^2_{\alpha; \frac{1}{2}p(p-1)}$

## 2.1.2 Distribusi Normal Multivariat

Menurut Johnson dan Wichern (2007), analisis multivariat normal merupakan perluasan dari distribusi univariat normal dengan jumlah variabel yang lebih dari satu. Distribusi ini digunakan pada sekelompok data yang memiliki hubungan. Apabila terdapat sejumlah  $p$  variabel yang dinyatakan dalam bentuk vektor  $\mathbf{X}' = [\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_p]$  yang mengikuti distribusi normal multivariat dengan parameter  $\boldsymbol{\mu}$  dan  $\boldsymbol{\Sigma}$ .

Distribusi normal multivariat dapat diperiksa dengan menggambarkan *QQ plot*, dimana untuk membuat *QQ plot* terlebih dahulu menghitung setiap jarak pengamatan sebagai berikut.

$$d_{ij}^2 = (\mathbf{X}_{ijk} - \bar{\mathbf{X}}_{.j})' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{X}_{ijk} - \bar{\mathbf{X}}_{.j}) \quad (2.4)$$

dimana:

- $i$  = 1,2,...,m adalah banyaknya subgrup
- $j$  = 1,2,3,...,n adalah banyaknya sampel pengamatan tiap subgrup
- $k$  = 1,2,...,p adalah banyaknya karakteristik kualitas
- $\mathbf{S}^{-1}$  = invers matrik varian kovarian  $\mathbf{S}_{\text{pxp}}$ .

Selanjutnya langkah-langkah menggambarkan *QQ plot* dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Mengurutkan nilai  $d_1^2 \leq d_2^2 \leq \dots \leq d_{ij}^2$  dari terkecil hingga terbesar.

2. Mengurutkan nilai  $q$ , dimana nilai  $q$  diperoleh dari  

$$q = \chi^2_{p;((n-i+0,5)/n)}$$
3. Membuat scatterplot antara  $d_{ij}^2$  dan  $q$
4. Data akan mengikut distribusi multivariat normal apabila pada *QQ plot* membentuk suatu garis lurus dan nilai-nilai  $d_{ij}^2$  yang kurang dari sama dengan nilai  $\chi^2_{(p;\alpha)}$  sebanyak kurang dari sama dengan 50%.

### 2.1.3 Homogenitas Matriks Varian Kovarians

Untuk mengetahui apakah matriks varian kovarians homogen atau tidak maka dilakukan pengujian dengan menggunakan *Box's M* dimana hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_g$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \Sigma_\ell \neq \Sigma_g, \text{ dimana } \ell = 1, 2, \dots, g$$

Statistik Uji :

$$C = (1-u)M = (1-u) \left\{ \left[ \sum_{\ell} n_{\ell} - 1 \right] \ln |S_{\text{pooled}}| - \sum_{\ell} [(n_{\ell} - 1) \ln |S_{\ell}|] \right\} \quad (2.5)$$

Dimana,

$$u = \left[ \sum_{\ell} \frac{1}{(n_{\ell} - 1)} - \frac{1}{\sum_{\ell} (n_{\ell} - 1)} \right] \left[ \frac{2p^2 + 3p - 1}{6(p+1)(g-1)} \right] \quad (2.6)$$

$$M = \left[ \sum_{\ell} (n_{\ell} - 1) \right] \ln |S_{\text{pooled}}| - \sum_{\ell} \sum_{\ell} [(n_{\ell} - 1) \ln |S_{\ell}|] \quad (2.7)$$

$$S_{\text{pooled}} = \frac{1}{\sum_{\ell=1}^g (n_{\ell} - 1)} \{ (n_1 - 1)S_1 + (n_2 - 1)S_2 + (n_3 - 1)S_3 \} \quad (2.8)$$

Keterangan:

$\ell$  = banyaknya perlakuan dengan  $\ell = 1, 2, \dots, g$

$p$  = banyaknya variabel

Dengan menggunakan taraf signifikan sebesar  $\alpha$  dan aproksimasi berdistribusi  $\chi^2$  maka  $H_0$  ditolak jika  $C > \chi^2_{p(p+1)(g-1)/2; \alpha}$ .

### 2.1.4 *Multivariate Analysis of Variance (MANOVA)*

*Multivariate Analysis of Variance (MANOVA)* adalah teknik analisis yang digunakan untuk membandingkan rata-rata dari dua populasi atau lebih dalam kasus multivariat random sampel yang diperoleh dari  $g$  populasi (Johnson dan Wichern, 2007). Sebelum melakukan pengujian, terdapat beberapa asumsi yang harus dipenuhi sebagai berikut.

1.  $X_{\ell 1}, X_{\ell 2}, \dots, X_{\ell n}$  adalah sampel acak dengan ukuran  $n_\ell$  dari sebuah populasi dengan rata-rata  $\mu_\ell$  dimana  $\ell = 1, 2, \dots, g$ . Sampel acak berasal dari populasi berbeda yang saling independen.
  2. Matriks varian kovarian antar perlakuan identik.
  3. Setiap populasi memiliki distribusi multivariat normal.
- Persamaan model MANOVA untuk vektor-vektor rata-rata  $g$  populasi dan hipotesis adalah sebagai berikut.

$$X_{\ell j} = \mu + \tau_1 + e_{\ell j} \quad j = 1, 2, \dots, n_1 ; \quad \ell = 1, 2, \dots, g \quad (2.9)$$

$$x_{\ell j} = \bar{x} + (\bar{x}_\ell - \bar{x}) + (x_{\ell j} - \bar{x}_\ell)$$

dimana :

$\mu$  adalah nilai matriks rata-rata

$\tau_\ell$  sebagai hasil dari pengaruh perlakuan dengan  $\sum_{\ell=1}^g n_\ell \tau_\ell = 0$

$e_{\ell j}$  adalah variabel independen dari  $N_p(\mathbf{0}, \Sigma)$

$j = 1, 2, \dots, n_\ell$

$\ell = 1, 2, \dots, g$

Susunan tabel MANOVA dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1. MANOVA**

Sumber Variasi	Matriks Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas
Perlakuan	$B = \sum_{l=1}^g n_l (\bar{\mathbf{x}}_l - \bar{\mathbf{x}})(\bar{\mathbf{x}}_l - \bar{\mathbf{x}})'$	$g - 1$
Residual	$W = \sum_{l=1}^g \sum_{t=1}^{n_l} (\bar{\mathbf{x}}_{lt} - \bar{\mathbf{x}}_l)(\bar{\mathbf{x}}_{lt} - \bar{\mathbf{x}}_l)'$	$\sum_{l=1}^g n_l - g$
Total	$B + W = \sum_{l=1}^g \sum_{t=1}^{n_l} (\bar{\mathbf{x}}_{lt} - \bar{\mathbf{x}})(\bar{\mathbf{x}}_{lt} - \bar{\mathbf{x}})'$	$\sum_{l=1}^g n_l - 1$

Setelah menyusun tabel MANOVA, maka selanjutnya menghitung nilai *wilks' Lambda* dan menguji hipotesis sebagai berikut.

Hipotesis :

$$H_0 : \boldsymbol{\tau}_1 = \boldsymbol{\tau}_2 = \dots = \boldsymbol{\tau}_g = 0$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu pasang } \boldsymbol{\tau}_g \neq 0,$$

Statistik uji yang dapat digunakan untuk membuat keputusan adalah sebagai berikut.

$$\Lambda^* = \frac{|\mathbf{W}|}{|\mathbf{B} + \mathbf{W}|} \quad (2.10)$$

Jika sudah diperoleh nilai *wilks' Lambda* maka menghitung nilai  $F_{\text{hitung}}$  berdasarkan distribusi *wilks' Lambda* sebagai berikut.

**Tabel 2.2 Distribusi Wilks' Lambda**

Jumlah Variabel	Jumlah Grup	Distribusi Sampling untuk Data Multivariat Normal
$p = 1$	$g \geq 2$	$\left( \frac{\sum_{l=1}^g n_l - g}{g - 1} \right) \left( \frac{1 - \Lambda^*}{\Lambda^*} \right) \sim F_{g-1, \sum_{l=1}^g n_l - g}$
$p = 2$	$g \geq 2$	$\left( \frac{\sum_{l=1}^g n_l - g - 1}{g - 1} \right) \left( \frac{1 - \sqrt{\Lambda^*}}{\Lambda^*} \right) \sim F_{2(g-1), 2 \left( \sum_{l=1}^g n_l - g - 1 \right)}$

**Tabel 2.3** Distribusi *Wilks' Lambda* (Lanjutan)

Jumlah Variabel	Jumlah Grup	Distribusi Sampling untuk Data Multivariat Normal
$p \geq 1$	$g = 2$	$\left( \frac{\sum_{i=1}^g n_i - p - 1}{p} \right) \left( \frac{1 - \Lambda^*}{\Lambda^*} \right) \sim F_{p, \sum_{i=1}^g n_i - p - 1}$
$p \geq 1$	$g = 3$	$\left( \frac{\sum_{i=1}^g n_i - p - 2}{p} \right) \left( \frac{1 - \sqrt{\Lambda^*}}{\Lambda^*} \right) \sim F_{2p, 2 \left( \sum_{i=1}^g n_i - p - 2 \right)}$

$H_0$  ditolak, apabila  $p_{\text{value}} < \alpha$  atau  $F_{\text{hitung}} > F_{(\alpha; df1; df2)}$

## 2.2 Pengendalian Kualitas Statistika

Pengendalian kualitas statistika merupakan suatu metode untuk mengevaluasi kualitas produk hasil proses produksi dengan menggunakan metode-metode statistik, salah satu metode statistik yang akan digunakan adalah peta kendali. Terdapat dua jenis karakteristik kualitas, yaitu variabel dan atribut. Karakteristik kualitas variabel adalah karakteristik kualitas produk yang dinyatakan melalui besaran yang dapat diukur, misalnya, panjang, lebar, temperatur, dll. Karakteristik kualitas atribut adalah karakteristik kualitas suatu produk yang dinyatakan dengan kategori tertentu, misalnya baik dan buruk.

Apabila karakteristik kualitas atribut, maka digunakan peta kendali atribut, tetapi jika karakteristik kualitas variabel digunakan peta kendali variabel. Peta kendali atribut antara lain, peta p, peta np, peta c, dan peta u. Peta kendali variabel ada beberapa macam, jika karakteristik kualitas hanya satu, maka digunakan peta kendali peta  $\bar{x} - R$ , peta  $\bar{x} - S$ , dan peta individu, tetapi jika karakteristik kualitas lebih dari satu dan antar karakteristik kualitas saling berkorelasi maka digunakan peta kendali  $T^2$  Hotelling dan *Generalized Variance* (Montgomery, 2013).

## 2.2.1 Peta Kendali *Generalized Variance*

Suatu produk jika karakteristik kualitas lebih dari satu variabel dimana antar karakteristik kualitas tersebut saling dependen maka peta kendali yang digunakan adalah peta kendali multivariat. Terdapat dua jenis peta kendali yang digunakan untuk mengontrol kualitas dimana karakteristik kualitasnya multivariat yaitu pertama mengontrol varian proses dan kedua mengontrol *mean* proses. Diagram Kontrol *generalized variance* digunakan untuk mengontrol varians dari proses. Varians proses digambarkan dari matriks varian kovarian  $\Sigma$  berukuran  $p \times p$  dimana elemen diagonal utama adalah varians dan elemen yang lain adalah kovarians (Montgomery, 2013).

Metode yang digunakan untuk mengontrol variabilitas proses adalah peta kendali *generalized variance* ( $|S|$ ) dimana determinan dari sampel varian kovarian matriks secara luas digunakan untuk mengukur penyebaran multivariat. Aproksimasi asimtotik normal digunakan untuk mengembangkan diagram kontrol untuk  $|S|$ , sehingga dalam menaksir *mean* dan varians dari  $|S|$  adalah sebagai berikut (Montgomery, 2013).

$$E(|S|) = b_1 \frac{|S|}{b_1} \quad (2.11)$$

dan

$$V(|S|) = b_2 \frac{|S|^2}{b_2} \quad (2.12)$$

dimana

$$b_1 = \frac{1}{(n-1)^p} \prod_{i=1}^p (n-i) \quad (2.13)$$

dan

$$b_2 = \frac{1}{(n-1)^{2p}} \prod_{i=1}^p (n-i) \left[ \prod_{i=1}^p (n-i+2) - \prod_{i=1}^p (n-i) \right] \quad (2.14)$$

Sehingga batas kendali diagram kontr ol untuk  $|\mathbf{S}|$  adalah

$$\text{BKA} = \frac{|\mathbf{S}|}{b_1} \left( b_1 + 3b_2^{1/2} \right) \quad (2.15)$$

$$\text{Garis Tengah} = b_1 \frac{|\mathbf{S}|}{b_1} \quad (2.16)$$

$$\text{BKB} = \frac{|\mathbf{S}|}{b_1} \left( b_1 - 3b_2^{1/2} \right) \quad (2.17)$$

### 2.2.2 Peta Kendali $T^2$ Hotelling

Peta kendali  $T^2$  Hotelling adalah suatu diagram yang digunakan untuk mengetahui apakah *mean* proses produksi terkendali secara statistik atau tidak dimana terdapat dua atau lebih karakteristik kualitas yang saling berhubungan. Karakteristik kualitasnya terdiri dari  $p$  variabel, yaitu  $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_p$ . Diagram kontrol  $T^2$  Hotelling mempunyai subgrup berukuran  $m$ , dimana ukuran tiap-tiap subgrup adalah  $n$  dan  $p$  adalah jumlah karakteristik kualitas yang diamati pada tiap-tiap sampel. Nilai  $\mathbf{S}$  menjadi matriks kovarians. Untuk mencari rata-rata sampel dan varian adalah sebagai berikut (Montgomery, 2013).

$$\bar{x}_{ik} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ijk} \quad (2.18)$$

$$s_{ik}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( x_{ijk} - \bar{x}_{ik} \right)^2 \quad (2.19)$$

Dimana:

$$\left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, n \\ k = 1, 2, \dots, p \end{array} \right\}$$

Matriks kovarian yang dilambangkan dengan  $\mathbf{S}$  ditunjukkan sebagai berikut.



$$S = \begin{bmatrix} \bar{s}_1^2 & \bar{s}_{12} & \bar{s}_{13} & \cdots & \bar{s}_{1p} \\ & \bar{s}_2^2 & \bar{s}_{23} & \cdots & \bar{s}_{2p} \\ & & \bar{s}_3^2 & \cdots & \bar{s}_{3p} \\ & & & \ddots & \vdots \\ & & & & \bar{s}_p^2 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Dimana :

$\bar{s}_1^2$  : Kovarian karakteristik kualitas ke-1

$\bar{s}_{12}$  : Kovarian karakteristik kualitas ke-1 dan ke-2

$\bar{s}_p^2$  : Kovarian karakteristik kualitas ke-1 sampai ke- $p$

Adapun nilai diagram kontrol  $T^2$  Hotelling adalah sebagai berikut.

$$T_i^2 = n \left( \bar{\mathbf{X}}_{i.k} - \bar{\bar{\mathbf{X}}}_{..k} \right)' S^{-1} \left( \bar{\mathbf{X}}_{i.k} - \bar{\bar{\mathbf{X}}}_{..k} \right) \quad (2.21)$$

dimana:

$\bar{\mathbf{X}}_{i.k}$  = vektor rata-rata tiap subgrup,  $i: 1, 2, \dots, m; k: 1, 2, \dots, p$

$\bar{\bar{\mathbf{X}}}_{..k}$  = vektor rata-rata tiap variabel kualitas

Apabila  $n = 1$  maka batas kontrol fase I seperti di bawah ini.

$$BKA = \frac{p(m-1)(n-1)}{mn - m - p + 1} F_{\alpha, p, mn-m-p+1} \quad (2.22)$$

$$BKB = 0$$

Dimana

$p$  = banyaknya karakteristik kualitas

$m$  = jumlah subgrup

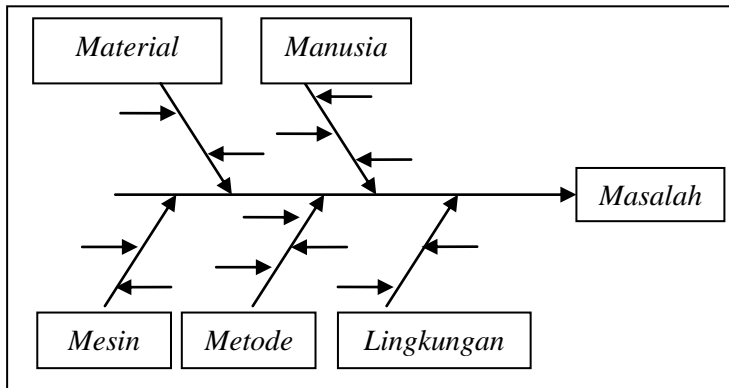
$n$  = jumlah sampel setiap subgrup

Proses dikatakan terkendali jika nilai  $T^2$  berada dalam batas kendali (Montgomery, 2013).

### 2.3 Diagram Ishikawa (Diagram Sebab Akibat)

Diagram sebab akibat disebut juga diagram tulang ikan karena bentuknya yang mirip tulang ikan dan biasa juga disebut sebagai diagram *Ishikawa*. Diagram ini menggambarkan

hubungan antara masalah atau akibat dengan faktor-faktor yang menjadi penyebabnya sehingga lebih mudah dalam penanganannya karena dapat melukiskan dengan jelas berbagai penyebab ketidaksesuaian dalam produk (Heizer and Render, 2009).



**Gambar 2.1** Diagram Ishikawa

## 2.4 Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses adalah suatu analisis guna menaksir kemampuan yang merupakan bagian yang sangat penting dalam keseluruhan peningkatan kualitas (Kotz & Johnson, 1993). Suatu proses dikatakan kapabel jika:

- Proses dikatakan terkendali jika berada dalam batas kendali.
- Memenuhi batas spesifikasi yang ditentukan oleh pihak manajemen berdasarkan spesifikasi alat, pertimbangan-pertimbangan tertentu perusahaan atau juga berdasarkan permintaan konsumen.
- Mempunyai tingkat presisi (ukuran kedekatan nilai pengamatan yang satu dengan nilai pengamatan yang lain).
- Memiliki akurasi (ukuran kedekatan nilai pengamatan dengan nilai target yang tinggi).

Indeks kapabilitas proses dilihat dari nilai  $C_p$  yang diperoleh dengan keterangan sebagai berikut.

- Jika  $C_p = 1$  maka proses dalam keadaan cukup baik
- Jika  $C_p > 1$  maka proses dalam keadaan baik (presisi baik)
- Jika  $C_p < 1$  maka sebaran data pengamatan berada diluar batas spesifikasi

Nilai dari indeks kapabilitas proses ( $C_p$ ) secara multivariat adalah sebagai berikut.

$$C_p = \frac{K}{\chi_{0,9973p}^2} \left[ \frac{(z-1)p}{U} \right]^{1/2} \quad (2.23)$$

dimana,

$$U = \sum_{i=1}^m (\mathbf{x}_{ij} - \bar{\mathbf{x}}_j)' \mathbf{A}^{-1} (\mathbf{x}_{ij} - \bar{\mathbf{x}}_j) \quad (2.24)$$

$$\mathbf{A}^{-1} = (\mathbf{x}_{ij}' \mathbf{x}_{ij})^{-1} \quad (2.25)$$

$$\mathbf{K}^2 = (\bar{\mathbf{x}}_{ij} - \xi_j)' \mathbf{S}^{-1} (\bar{\mathbf{x}}_{ij} - \xi_j) \quad (2.26)$$

$$\xi_j = \frac{1}{2} (\text{BSA} + \text{BSB}) \quad (2.27)$$

Keterangan:

- $\mathbf{S}^{-1}$  = invers matriks varian kovarians  
 $z$  = banyaknya pengamatan yang telah terkendali  
 $p$  = banyaknya karakteristik kualitas (variabel)  
 $\chi_{0,9973}^2$  = menggunakan batas produk yang sebenarnya dengan probabilitas ketidaksesuaian minimal 0,27% (Kotz & Johnson, 1993).

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Sumber Data**

Sumber data yang digunakan yaitu sumber data sekunder. Data sekunder didapatkan dengan persetujuan permohonan ijin melakukan penelitian yang didapatkan sesuai dengan Lampiran A, dimana data diambil dari Laboratorium *Quality Control* seksi pengendalian proses di PT. Semen Gresik pada bulan Januari 2017. Produk yang diamati adalah semen tipe PPC pada periode bulan Januari 2017, dimana setiap *shift* yang diamati 5 kali yaitu pada *shift* pagi, *shift* siang, dan *shift* malam. Data dapat dilihat secara lengkap pada Lampiran C.

#### **3.2 Variabel Penelitian**

Variabel kualitas semen tipe ada 3 yaitu *Blaine* ( $\text{m}^2/\text{gram}$ ), *Mesh*(%), dan kadar  $\text{SO}_3$  (%) yang ditujukan sebagai berikut.

1.  $X_1$  adalah *Blaine* yang berguna untuk mempercepat laju reaksi semen dan laju pengerasan semen, semakin tinggi tingkat kehalusan semen yang dihasilkan maka reaksi hidrasi semen akan semakin cepat. Jika semakin halus ukuran butiran semen maka semakin tinggi kuat tekannya, karena butiran semen yang semakin halus akan menyerap air dan  $\text{CO}_2$  maka jarak antar partikel semakin dekat sehingga kerapatannya semakin meningkat sehingga menghasilkan kuat tekan mortar yang kuat pula. *Blaine* memiliki batas spesifikasi sebesar  $(375 \pm 355) \text{ m}^2/\text{gram}$ .
2.  $X_2$  adalah *Mesh* yaitu ukuran dari jumlah lubang suatu jaring atau karsa pada luasan 1 inch persegi. *Mesh* berguna untuk menjaga kekuatan tekan semen untuk waktu yang lama, semakin tinggi angka ukuran *Mesh*, maka semakin halus material bahan semen yang bisa terloloskan. *Mesh* memiliki batas spesifikasi sebesar

$(90 \pm 75) \%$ .

3.  $X_3$  adalah Kadar  $SO_3$  yang berguna untuk pengatur waktu pengikatan dan penyebab pemuaihan, kadar  $SO_3$  juga dapat mempengaruhi perkembangan kuat tekan. Kadar  $SO_3$  dalam semen dapat memberikan efek negatif apabila dalam jumlah yang besar, dimana dapat menyebabkan terjadinya pemuaihan pada semen. Kadar  $SO_3$  memiliki batas spesifikasi sebesar  $(4,5 \pm 0,1) \%$ .

Hubungan ketiga variabel kualitas adalah apabila tingkat kehalusan semen yang menjadi faktor penentu utama (standart) semakin rendah maka luas permukaan semakin kecil sehingga tidak ada reaksi antar unsur kadar kimia, dan tidak memberikan kontribusi yang signifikan bagi kekuatan semen, serta dapat menurunkan kekuatan tekan pada semen. Sebaliknya, jika tingkat kehalusan semen semakin tinggi maka reaksi hidrasi semen akan semakin cepat sehingga akan mengurangi terjadinya retak susut.

### 3.3 Struktur Data

Struktur data yang digunakan pada pengamatan ini adalah sebagai berikut.

Tabel 3.2. Struktur Data

Subgrup (i)	Sampel (j)	Karakteristik Kualitas (k)		
		$X_1$ (Kehalusan semen)	$X_2$ ( <i>Freelime</i> )	$X_3$ ( $SO_3$ )
1	1	$x_{111}$	$x_{121}$	$x_{131}$
	2	$x_{121}$	$x_{122}$	$x_{123}$
	:	:	:	:
	5	$x_{161}$	$x_{162}$	$x_{163}$
	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_{1.1}$	$\bar{X}_{1.2}$	$\bar{X}_{1.3}$
	$s_1^2$	$s_{1.1}^2$	$s_{1.2}^2$	$s_{1.3}^2$

Lanjutan Tabel 3.2. Struktur Data

Subgrup (i)	Sampel (j)	Karakteristik Kualitas (k)		
		$X_1$ (Kehalusan semen)	$X_2$ (Freelime)	$X_3$ (SO <sub>3</sub> )
2	1	$x_{211}$	$x_{212}$	$x_{213}$
	2	$x_{221}$	$x_{222}$	$x_{223}$
	:	:	:	:
	5	$x_{261}$	$x_{262}$	$x_{263}$
	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_{2.1}$	$\bar{X}_{2.2}$	$\bar{X}_{2.3}$
	$S_2^2$	$S_{2.1}^2$	$S_{2.2}^2$	$S_{2.3}^2$
:	:	:	:	:
:	:	:	:	:
M	1	$x_{m11}$	$x_{m12}$	$x_{m13}$
	2	$x_{m21}$	$x_{m22}$	$x_{m23}$
	:	:	:	:
	5	$x_{m61}$	$x_{m62}$	$x_{m63}$
	$\bar{X}_m$	$\bar{X}_{m.1}$	$\bar{X}_{m.2}$	$\bar{X}_{m.3}$
	$S_m^2$	$S_{m.1}^2$	$S_{m.2}^2$	$S_{m.3}^2$
Rata-Rata dari rata- rata tiap subgrup	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}}_{..1}$	$\bar{\bar{X}}_{..2}$	$\bar{\bar{X}}_{..3}$
Rata-rata dari varians tiap subgrup	$\bar{\bar{S}}^2$	$\bar{\bar{S}}_{..1}^2$	$\bar{\bar{S}}_{..2}^2$	$\bar{\bar{S}}_{..3}^2$

Keterangan :

i merupakan banyaknya subgrup sejumlah 1,2,...,93

j merupakan banyaknya sampel sejumlah 1,2,...,5

k merupakan banyaknya karakteristik kualitas sejumlah 1,2,3

### 3.4 Langkah Analisis

Langkah-langkah dalam analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

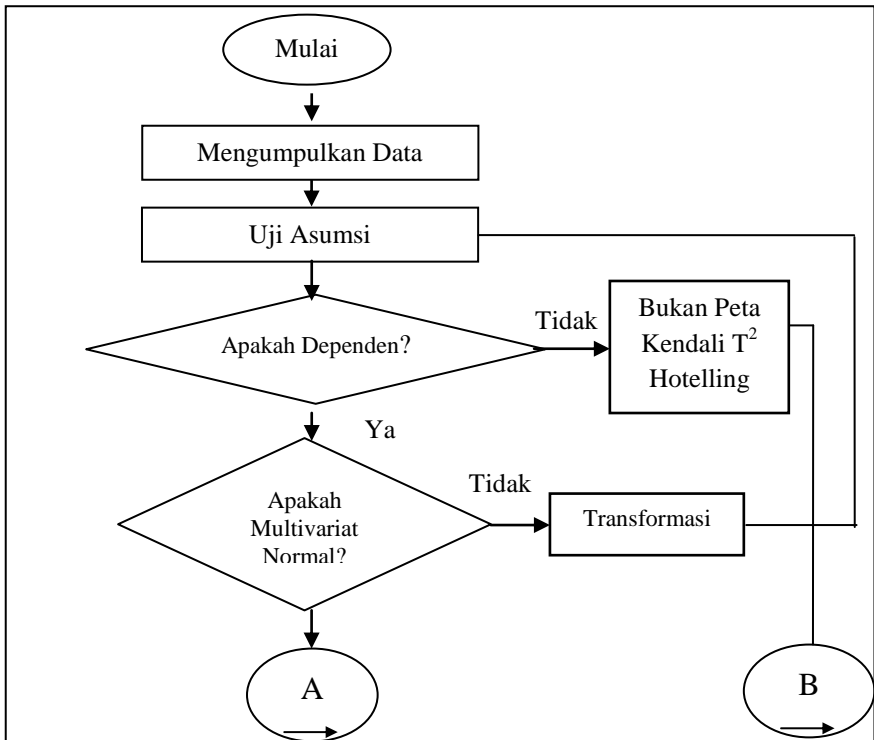
1. Mengumpulkan data variabel proses produksi semen tipe PPC pada bulan Januari 2017
2. Melakukan pengujian independensi untuk mengetahui apakah variabel *Blaine*, *Mesh*, dan  $\text{SO}_3$  saling berhubungan atau tidak.
3. Melakukan pemeriksaan asumsi multivariat normal untuk mengetahui apakah variabel *Blaine*, *Mesh*, dan  $\text{SO}_3$  telah memenuhi asumsi multivariat normal.
4. Melakukan uji kesamaan matrik kovarian untuk mengetahui apakah varians kovarian telah homogen atau tidak.
5. Jika pada langkah 3 diperoleh hasil bahwa data homogen, maka langkah selanjutnya adalah mendeteksi adanya perbedaan *shift* dengan menggunakan uji MANOVA (*Multivariate Analysis of Variance*) sebelum membuat peta kendali.
6. Jika pada langkah 5 diperoleh hasil bahwa terdapat pengaruh antar *shift* maka, membuat peta kendali berdasarkan per *shift* namun, jika diperoleh hasil bahwa tidak terdapat perbedaan dipilih salah satu *shift* untuk dibuat peta kendali.
7. Membuat peta kendali *Generalized Variance* untuk memonitoring variabilitas produksi semen PPC pada bulan Januari 2017.
8. Membuat peta kendali peta kendali  $T^2$  Hotelling jika peta kendali *Generalized Variance* telah terkendali secara statistik, jika proses tidak terkendali maka diidentifikasi penyebab plot-plot keluar dari batas kendali dan dilakukan perbaikan pada peta kendali  $T^2$  Hotelling.
9. Membuat Diagram *Ishikawa* untuk mengetahui faktor-faktor penyebab masalah variabel-variabel yang keluar dari batas kendali.



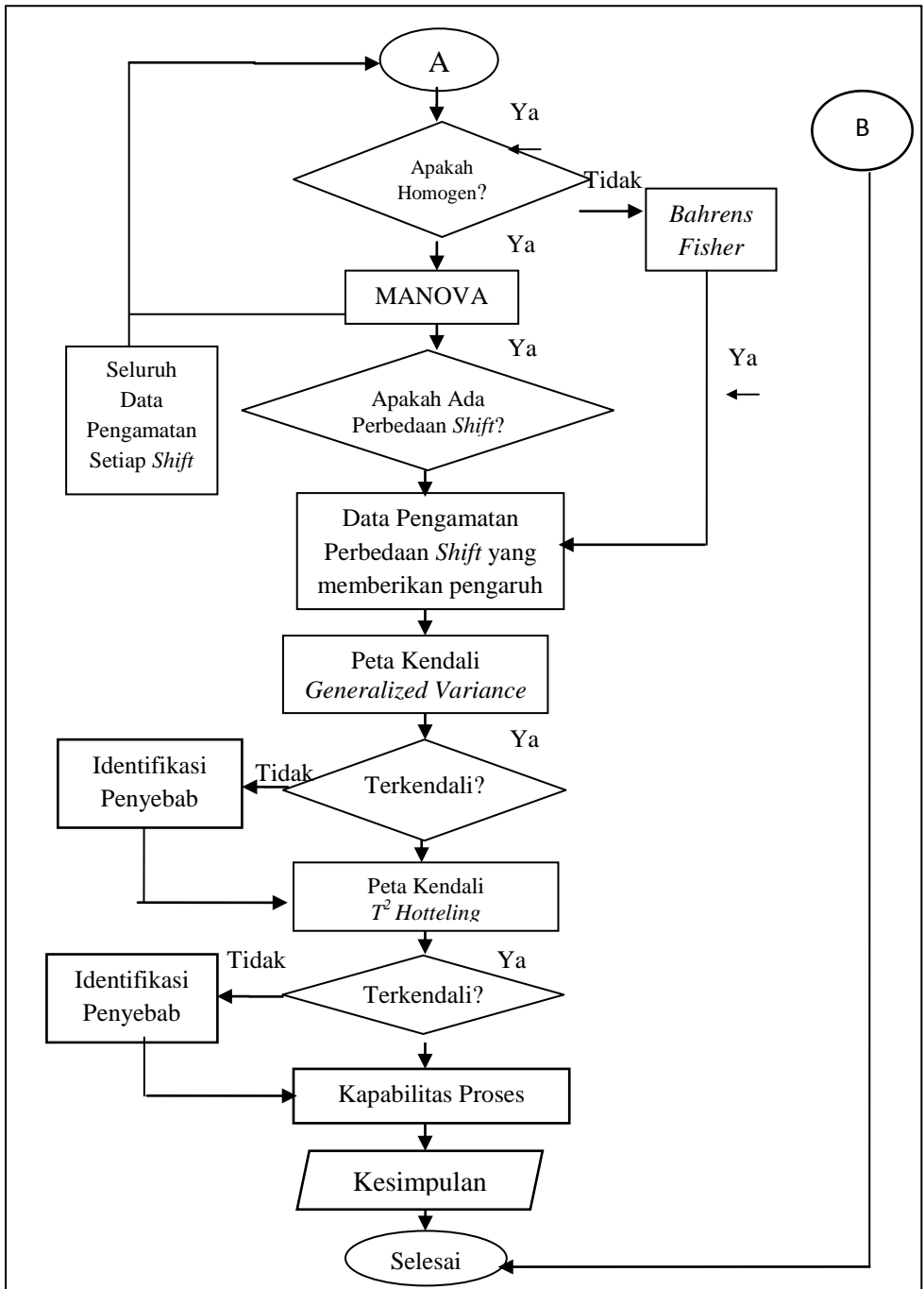
10. Menganalisis kapabilitas proses untuk mengetahui proses produksi semen PPC pada *shift* pagi, siang, dan malam telah kapabel atau belum.
11. Menginterpretasi hasil analisis data.
12. Menarik kesimpulan dan saran.

### 3.5 Diagram Alir

Berdasarkan langkah analisis sebelumnya, langkah analisis diatas dapat digambarkan seperti pada Gambar 2 sebagai berikut.



**Gambar 3.1** Diagram Alir



## **BAB IV**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Analisis Multivariat**

Sebelum melakukan analisis peta kendali multivariat diperlukan beberapa asumsi yang harus dipenuhi yaitu analisis independensi antar variabel *Blaine*, Mesh, dan  $S0_3$ , distribusi normal multivariat, dan homogenitas matriks varian kovarians. Pemeriksaan asumsi dilakukan pada data proses produksi Semen PPC, dimana hasil pemeriksaan asumsi yang dilakukan adalah sebagai berikut.

##### **4.1.1 Independensi antar Variabel**

Pemeriksaan asumsi yang pertama dilakukan adalah pengujian independensi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah variabel *Blaine*, Mesh, dan  $S0_3$  saling berhubungan atau tidak. Hipotesis dan hasil pengujian menggunakan metode *Barlett's* adalah sebagai berikut.

$H_0$ :  $R = I$  (Variabel *Blaine*, Mesh, dan  $S0_3$  tidak berhubungan satu sama lain)

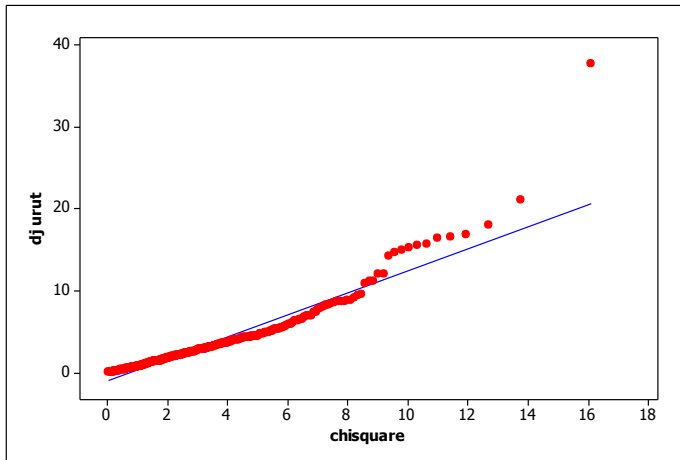
$H_1$ :  $R \neq I$  (Variabel *Blaine*, Mesh, dan  $S0_3$  saling berhubungan)

Dengan menggunakan Persamaan (2.1) dan data pada Lampiran C dengan mengabaikan subgroup diperoleh *output software* pada Lampiran F, dimana  $\chi^2_{hitung}$  sebesar 14,594, jika digunakan taraf signifikan 0,05 dan nilai  $\chi^2_{(3;0,05)}$  sebesar 7,815, maka  $\chi^2_{hitung}$  lebih besar dibandingkan dengan  $\chi^2_{(3;0,05)}$  dan  $p_{value}$  sebesar  $0,002 < \alpha(0,05)$ , sehingga diperoleh keputusan  $H_0$  ditolak, oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa variabel *Blaine*, Mesh, dan  $S0_3$  saling berhubungan. Hal ini telah sesuai dengan fakta dilapangan bahwa ketiga variabel saling berhubungan.

##### **4.1.2 Pemeriksaan Distribusi Normal Multivariat**

Pemeriksaan distribusi normal multivariat akan dilakukan pada ketiga variabel karakteristik kualitas, yakni *Blaine*, Mesh, dan

S03 pada Lampiran C6-C9 dengan mengabaikan subgrup untuk mengetahui apakah proses produksi semen PPC berdistribusi normal multivariat atau tidak. Pemeriksaan distribusi normal multivariat dilakukan dengan melihat Q-Q plot antara  $d_{ij}^2$  dan q pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** *Q-Q Plot*

Berdasarkan Gambar 4.1 menunjukkan bahwa secara visual bahwa plot-plot data mengikuti garis normal, sehingga data proses produksi semen PPC berdistribusi normal multivariat. Hal ini diperkuat pula dengan nilai  $d_{ij}^2$  yang kurang dari sama dengan  $\chi^2_{(3;0,05)}$  sebesar 7,81 pada Lampiran E3-E4 yang diperoleh hasil proporsi sebesar 0.55 pada Lampiran E2 yang setara dengan 55% dimana nilai tersebut mendekati 50% sehingga, dapat disimpulkan bahwa data proses produksi semen PPC berdistribusi normal multivariat.

#### **4.1.3 Pemeriksaan Homogenitas Matriks Varian Kovarians**

Sebelum melakukan analisis MANOVA, terlebih dahulu melakukan pemeriksaan homogenitas matriks varian kovarians

pada jam kerja *shift* pagi, siang, dan malam untuk mengetahui apakah ada perbedaan antar *shift* pada proses produksi semen PPC bulan Januari 2017. Hipotesis dan hasil pengujian menggunakan uji *Box's M* adalah sebagai berikut.

$$H_0 : \Sigma_1 = \Sigma_2 = \Sigma_3 = \Sigma$$

$H_0$  : minimal ada satu  $\Sigma_\ell \neq \Sigma$ ;  $\ell = 1,2,3$  ( minimal ada satu matriks varian kovarians *shift* kerja tidak homogen)

Dengan menggunakan Persamaan (2.7) dan data pada Lampiran D1-D3 berdasarkan *shift* diperoleh *output software* pada Lampiran G, dimana nilai *Box's M* sebesar 12,316 dengan  $p_{\text{value}}$  sebesar 0,430, jika digunakan taraf signifikan 0,05, nilai  $\chi^2_{(12;0,05)}$  sebesar 21,026, maka  $\chi^2_{\text{hitung}}$  lebih kecil dibandingkan dengan  $\chi^2_{(12;0,05)}$  dan  $p_{\text{value}}$  lebih besar dibandingkan dengan  $\alpha$  (0,05), sehingga diperoleh keputusan  $H_0$  gagal ditolak, oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa matriks varian kovarians *shift* pagi, siang, dan malam adalah homogen.

#### 4.1.4 *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA)

Untuk mengetahui apakah dari proses produksi semen PPC yang dihasilkan pada *shift* pagi, siang, dan malam terdapat perbedaan atau tidak maka digunakan MANOVA. Hipotesis dan hasil pengujian adalah sebagai berikut.

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3$  ( tidak terdapat perbedaan antara rata-rata *shift* pagi, siang, dan malam terhadap *Blaine*, *Mesh*, dan S03 )

$H_1$  : minimal ada satu rata-rata  $\tau_\ell$  yang tidak sama;  $\ell = 1,2,3$  (minimal ada satu rata-rata *shift* pagi, siang, dan malam yang memberikan pengaruh signifikan terhadap *Blaine*, *Mesh*, dan S03)

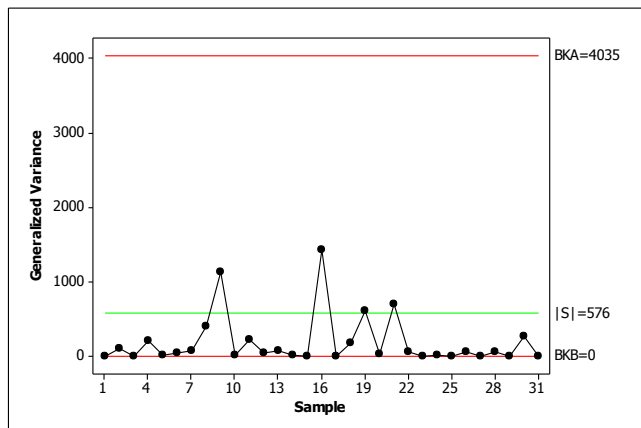
Dengan menggunakan Persamaan (2.10) dan data pada Lampiran D1-D3 berdasarkan *shift* diperoleh *output software* pada Lampiran H1, dimana nilai *Wilks' Lambda* sebesar 0,940

sehingga diperoleh nilai  $F_{hitung}$  sebesar 4,816 dengan  $p_{value}$  sebesar 0,430, jika digunakan taraf signifikan 0,05, nilai  $F_{(6;460;0,05)}$  sebesar 2,1182824, maka  $F_{hitung}$  lebih besar dibandingkan dengan  $F_{(6;460;0,05)}$  dan  $p_{value}$  lebih kecil dibandingkan dengan  $\alpha$  (0,05), sehingga diperoleh keputusan  $H_0$  ditolak, oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa minimal ada satu *shift* kerja yang memberikan pengaruh signifikan terhadap variabel kualitas *Blaine*, *Mesh*, dan *S03*

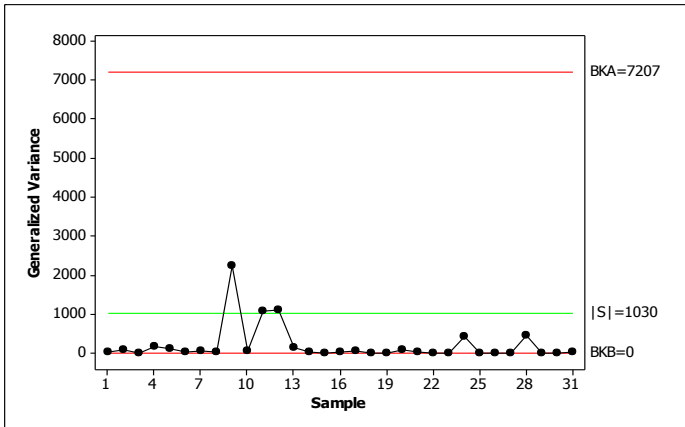
## 4.2 Analisis Pengendalian Proses *Mean* dan *Vars*

### 4.2.1 Peta Kendali *Generalized Variance*

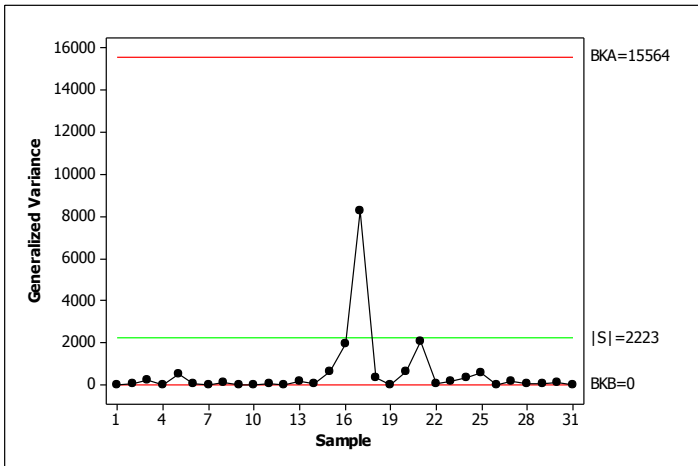
Analisis pengendalian proses *vars* dilakukan menggunakan peta kendali *generalized variance*. Dalam memonitoring variabilitas proses ini, data yang digunakan terdapat pada Lampiran D1-D3, dimana statistik *Generalized Variance* diperoleh dari persamaan (2.11) yang hasilnya terdapat pada Lampiran I1-I3. Berikut merupakan hasil analisis monitoring variabilitas proses produksi semen PPC pada *shift* pagi, siang, dan malam dapat dilihat pada Gambar 4.2-Gambar 4.4.



**Gambar 4.2** Peta Kendali *Generalized Variance* Shift Pagi



**Gambar 4.3** Peta Kendali *Generalized Variance Shift Siang*



**Gambar 4.4** Peta Kendali *Generalized Variance Shift Malam*

Berdasarkan Gambar 4.2 - Gambar 4.4 dapat diketahui secara visual bahwa pengendalian proses varians proses produksi semen PPC yang dihasilkan dari *shift* pagi, siang, dan malam tidak ada yang keluar dari batas kendali. Hal tersebut dapat

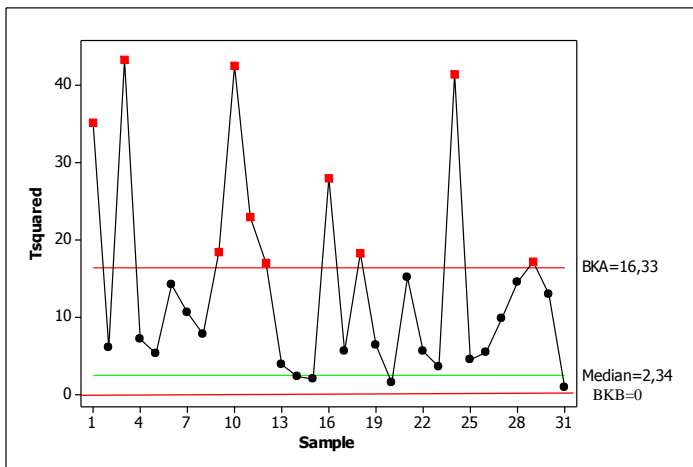
disimpulkan varians data proses produksi semen PPC telah terkendali secara statistik sehingga dapat dilanjutkan pada analisis selanjutnya yaitu peta kendali  $T^2$  Hotelling untuk memonitoring proses *mean* pada data proses produksi semen PPC di PT. Semen Gresik.

#### 4.2.2 Peta Kendali $T^2$ Hotelling

Setelah variabilitas proses telah terkendali secara statistik dan stabil, maka selanjutnya dilakukan pengendalian terhadap *mean* proses dengan peta kendali  $T^2$  Hotelling menggunakan persamaan (2.21) yang hasilnya terdapat pada Lampiran J1-J9. Berikut merupakan hasil analisis monitoring vektor rata-rata proses produksi semen PPC pada *shift* pagi, siang, dan malam.

##### 4.2.2.1 Evaluasi Proses *Shift* Pagi

Berikut merupakan hasil evaluasi proses produksi semen PPC yang dihasilkan dari *shift* pagi dengan menggunakan data pada Lampiran D1.

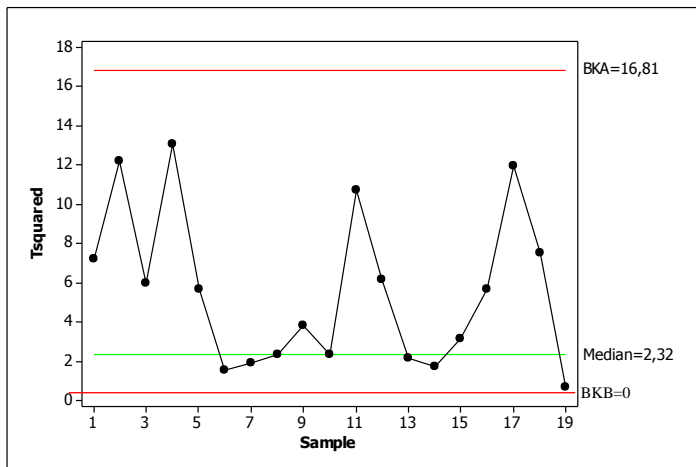


Gambar 4.5 Peta Kendali  $T^2$  Hotelling Shift Pagi



Berdasarkan Gambar 4.5 dapat diketahui secara visual bahwa terdapat 10 sampel yang keluar batas kendali atas. Sampel yang keluar batas kendali atas adalah sampel pengamatan ke 1, 3, 9, 10, 11, 12, 16, 18, 24, dan 29. Hal tersebut mengindikasikan bahwa proses produksi semen PPC belum terkendali dalam *mean* proses. Banyaknya titik pengamatan yang berada di luar batas kendali tersebut disebabkan karena pada produksi mesin down sehingga terak habis, *Gips*, dan *setting time* pada penggilingan akhir semen produk PPC mengalami kebuntuan, sehingga pengamatan yang berada diluar batas kendali tersebut menghasilkan *output* yang kurang maksimal dalam pencapaian target atau standar nasional yang telah ditentukan oleh perusahaan.

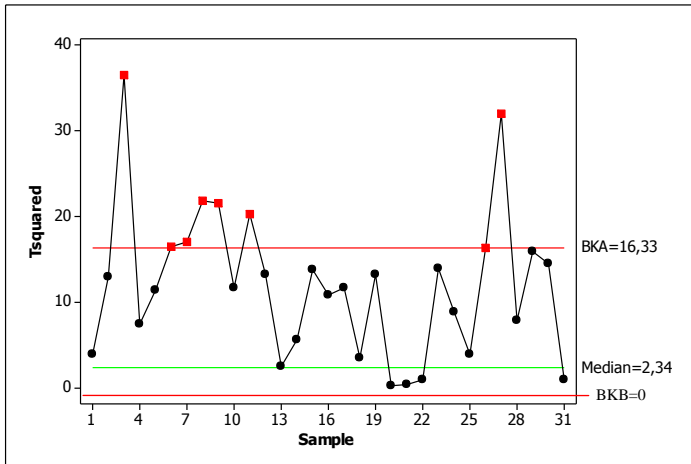
Pada Gambar 4.6 setelah peta kendali  $T^2$  Hotelling diketahui faktor yang menyebabkan *mean* proses tidak terkendali. Perbaikan batas kendali dilakukan pada *mean* proses dengan membuang sampel pengamatan yang berada diluar batas kendali karena penyebabnya telah diketahui. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa sampel pengamatan tidak ada yang keluar dari batas kendali dengan batas kendali. Hal ini menunjukkan bahwa *mean* proses produksi semen PPC telah terkendali secara statistik.



**Gambar 4.6** Peta Kendali  $T^2$  Hotelling Shift Pagi telah Terkendali

#### 4.2.2.2 Evaluasi Proses *Shift* Siang

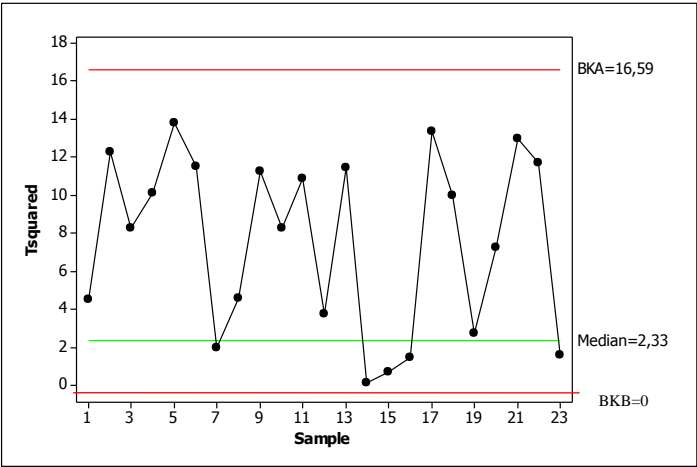
Berikut merupakan hasil evaluasi proses produksi semen PPC yang dihasilkan dari *shift* siang dengan menggunakan data pada Lampiran D2.



**Gambar 4.7** Peta Kendali  $T^2$  Hotelling Shift Siang

Gambar 4.7 dapat menunjukkan secara visual bahwa mean proses produksi semen PPC yang dihasilkan pada *shift* siang terdapat pengamatan yang keluar dari Batas Kendali Atas yaitu pada observasi ke-3, ke-6, ke-7, ke-8, ke-9, ke-11, ke-26, dan ke-27. Kesimpulan yang didapatkan yaitu bahwa mean proses produksi semen PPC pada shift siang belum terkendali secara statistik sehingga perlu dilakukan perbaikan dan peninjauan kembali dengan membuang observasi ke-3,6,7,8,9,11,dan 26. Banyaknya titik pengamatan yang berada di luar batas kendali tersebut disebabkan karena pada produksi yang dilakukan pada *shift* siang mengalami perbaikan mesin atau *setting* mesin selama 2 hari pada bulan Januari 2017, sehingga pengamatan yang berada diluar batas kendali tersebut menghasilkan *output* yang

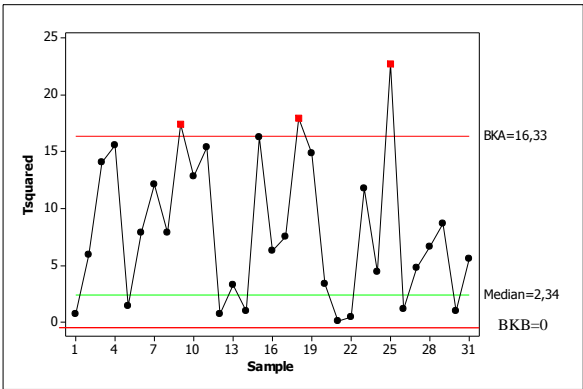
kurang maksimal dalam pencapaian target. Hasil perbaikan dan peninjauan kembali yang telah di dilakukan pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Peta Kendali  $T^2$  Hotelling Shift Siang telah Terkendali

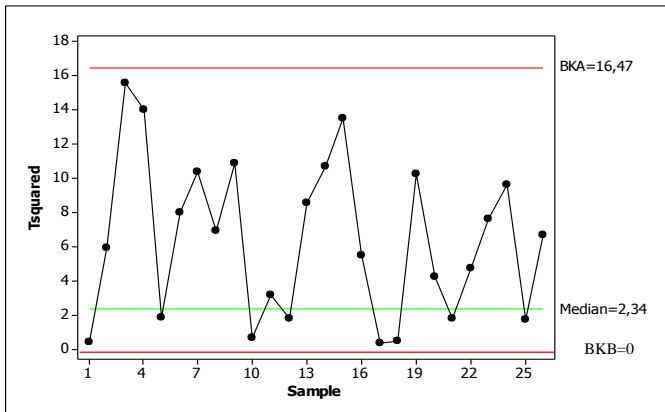
### 4.2.2.2 Evaluasi Proses Shift Malam

Berikut merupakan hasil evaluasi proses produksi semen PPC yang dihasilkan dari *shift* malam dengan menggunakan data pada Lampiran D3.



**Gambar 4.9** Peta Kendali  $T^2$  Hotelling Shift Malam

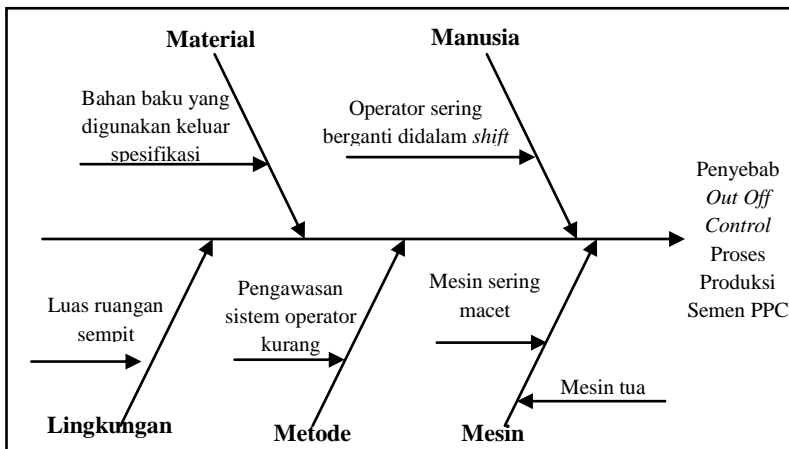
Gambar 4.9 dapat menunjukkan secara visual bahwa mean proses produksi semen PPC yang dihasilkan pada *shift* malam terdapat pengamatan yang keluar dari Batas Kendali Atas yaitu pada observasi ke-9, ke-18, dan ke-25. Kesimpulan yang didapatkan yaitu bahwa mean proses produksi semen PPC pada *shift* malam belum terkendali secara statistik sehingga perlu dilakukan perbaikan dan peninjauan kembali dengan membuang observasi ke- 9, 18, dan 25. Banyaknya titik pengamatan yang berada di luar batas kendali tersebut disebabkan oleh mesin yang tidak berjalan konstan atau berhenti dan suhu ruangan yang menurun ketika musim hujan. Hasil perbaikan dan peninjauan kembali yang telah di dilakukan pada Gambar 4.10.



**Gambar 4.10** Peta Kendali  $T^2$  Hotelling Shift Malam telah Terkendali

### 4.3 Diagram Ishikawa

Diagram *Ishikawa* digunakan untuk menjelaskan faktor-faktor penyebab tidak terkendalinya proses yang digambarkan dalam bentuk diagram tulang ikan. Hasil penjelasan dari penyebab tidak terkendalinya proses dapat dilihat pada Gambar 4.11.



**Gambar 4.11** Faktor Penyebab Tidak Terkendalinya Proses Produksi Semen PPC

Gambar 4.11 menunjukkan tentang faktor penyebab *out of control* proses produksi Semen PPC yang dilihat dari material, manusia, lingkungan, metode, dan mesin. Penjelasan lebih detail penyebab data pengamatan proses produksi Semen PPC banyak yang berada diluar batas kendali adalah sebagai berikut:

1. Material

- a. Raw material yang digunakan keluar spek

*Raw material* adalah semua bahan yang diperlukan dalam pembuatan produksi semen. *Raw material* terdiri dari tanah tras, batu kapur, setting time, blaine, mesh, s03, terak, dan variabel kuat tekan. Dari semua *raw material* tersebut ada beberapa bahan yang tidak sesuai dengan spek dari pabrik yang telah di tentukan. Sebagai contoh jika spek semen terlalu lunak akan mengakibatkan kuat tekan semen itu menurun sehingga mengakibatkan konsumen dirugikan. Hal ini mengharuskan perusahaan agar lebih teliti dalam memilih *raw material* dan juga perlu menggandeng

beberapa produsen yang sesuai dengan spek yang ditentukan perusahaan.

b. *Raw material kurang supporting*

*Raw material kurang supporting* salah satu contohnya adalah permintaan yang tinggi tidak didukung dengan jumlah *raw material* yang banyak juga. Sehingga saat terjadi kekurangan material mengakibatkan perusahaan menggabungkan beberapa material lama dengan material baru dengan kondisi material yang kurang baik.

2. Manusia

Manusia adalah orang yang berperan sebagai tenaga kerja didalam sebuah perusahaan. Permasalahan yang terjadi di PT. Semen Gresik yang berkaitan dengan manusia adalah operator sering berganti-ganti karena adanya *shift* dalam menjalankan proses produksi dan kurang telitinya dan kurangnya pengetahuan operator dari pengoperasian mesin sehingga, sering mengakibatkan perbedaan perlakuan dalam proses produksi Semen PPC. Perusahaan juga memiliki calon pengganti karyawan lama atau penambahan karyawan. Pelatihan calon pengganti karyawan perlu dilakukan sebuah *trainer*. *Trainer* ini juga mengakibatkan proses produksi berubah-ubah karena sering terjadi kesalahan pada saat karyawan baru. Perusahaan harus mengambil langkah terkait kejadian ini agar kualitas manusia di perusahaan tidak mengalami penurunan.

3. Lingkungan

a. Luas ruangan sempit

Luas ruangan produksi yang sempit mengakibatkan ruang gerak terbatas. Sehingga pekerja sering meninggalkan ruang kerja untuk mencari ruang gerak atau sekedar menghirup udara. Hal ini mengakibatkan proses produksi semen tidak diawasi secara bertahap. Ada beberapa proses produksi yang tidak terawasi

pada saat itu, sehingga jika terjadi kesalahan akan terlewatkan dan tidak diatasi pada saat itu.

4. Metode

Dalam proses produksi terdapat seorang *leader* yang bertugas mengawasi karyawan lainnya yang bekerja dalam proses produksi semen. Hal ini bertujuan agar jika ada kesalahan yang dilakukan oleh karyawan dapat segera di cari solusinya dan juga untuk menjaga kedisiplinan serta tanggung jawab karyawan.. Kekurangan SDM juga merupakan salah satu penyebab, karena jika SDM seorang *leader* sesuai dengan jumlah karyawan maka proses produksi akan lebih berjalan sesuai yang direncanakan.

5. Mesin

a. Mesin sering *trouble*

Mesin yang digunakan merupakan mesin yang sudah lama yang dimiliki oleh pabrik. Sehingga dengan produksi setiap hari dapat mengalami *trouble*. *Trouble* adalah keadaan dimana mesin mengalami gagal operasi atau mesin mengalami gangguan. Sehingga proses produksi harus terhenti jika sudah dalam keadaan *trouble* untuk dilakukan perawatan pada mesin tersebut.

b. *Setting* Mesin

*Setting* mesin tiap kali produksi berbeda-beda karena mesin tidak selalu berjalan konstan sehingga butuh pengawasan khusus pada penyetalan mesin secara terus-menerus.

#### 4.4 Kapabilitas Proses

Setelah hasil pengendalian secara varian dan *mean* terkendali maka dilanjutkan analisis kapabilitas proses secara multivariat pada data hasil proses produksi Semen PPC bulan Januari 2017 pada *shift* pagi, *shift* siang, dan *shift* malam yang telah terkendali. Proses dikatakan kapabel apabila nilai  $C_p$  dan

Cpk lebih dari 1 yang dilihat pada persamaan (2.23). Hasil analisis indeks kapabilitas proses secara multivariat pada data hasil proses produksi Semen PPC diperoleh pada Lampiran K4-K6, dimana nilai Cp pada *shift* pagi sebesar 3,90884, nilai Cp pada *shift* siang sebesar 3,23746, dan nilai cp *shift* malam sebesar 4,00038 oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa presisi yang dihasilkan proses produksi semen PPC sudah kapabel atau telah baik, karena nilai yang diperoleh lebih dari satu namun perusahaan masih perlu memantau secara terus menerus sistem kerja masing-masing variabel kualitas yaitu blaine, mesh, dan s03 agar produk yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Terdapat perbedaan kualitas hasil proses produksi bulan Januari 2017 pada *shift* pagi, siang dan malam .
2. Proses produksi semen PPC pada bulan Januari 2017 pada shift pagi, siang, dan malam dihasilkan nilai  $C_p$  pada *shift* pagi sebesar 3,90884, nilai  $C_p$  pada *shift* siang sebesar 3,23746, dan nilai  $C_p$  pada *shift* malam sebesar 4,00038 sehingga proses sudah dikatakan sangat baik.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan kepada perusahaan berdasarkan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Masih perlu pengawasan dalam *setting* mesin secara terus-menerus agar dapat meminimalisir kesalahan dalam *setting* mesin, melakukan pengawasan terhadap material yang digunakan serta menjaga sekitar lingkungan tetap terjaga agar dapat meminimalisir terjadinya kontaminasi, dan perusahaan perlu melakukan pelatihan karyawan (*trainer*) agar kualitas manusia di perusahaan tidak mengalami penurunan.
2. Penelitian ini hanya menggunakan data hasil proses produksi bulan Januari saja (1 tahap), sehingga penelitian untuk selanjutnya disarankan dengan 2 tahap untuk mengetahui pergeseran proses.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Damayanti, Yuanita. (2011). *Analisis Pengendalian Kualitas Statistik Univariate pada Proses Penggilingan Akhir Semen di PT. Semen Gresik*. Tugas Akhir Jurusan Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Dwiwardani, Fitri. (2010). *Analisis Pengendalian Kualitas Statistik Multivariat pada Proses Penggilingan Akhir Semen di PT. Semen Gresik*. Tugas Akhir Jurusan Statistika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Heizer J. dan Render B, (2009). *Manajemen Operasi*. Buku 1 Edisi 9. Jakarta: Salemba Empat.
- Johnson, Richard A., and Dean W. Wichern. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis, 5<sup>th</sup> edition*, Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Kotz, S. and Johnson, N.L. (1993). *Process Capability Indices*. Suffolk: Chapman & Hall
- Montgomery, C. D. (2013). *Introduction to Statistical Quality Control, 7th edition*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Rencher, Alvin C. (2002). *Methods Of Multivariate Analysis*. Canada: Wiley Interscience, page 265.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# LAMPIRAN

## Lampiran A. Surat Perijinan Pengambilan Data



Nomor : 0012.14/SM.19.02/542014/02.2017  
Lamp. : -  
Perihal : Panggilan Penelitian

R/74203200/002-3

Kepada Yth.  
Sekretaris Jurusan Statistika ITS  
u.p. Dr. Suhartono.  
Kampus ITS Sukolilo Surabaya

Menunjuk Surat Saudara No : 078474/IT2.1.1.3/TU.00.08/2016 tanggal 21 Desember 2016,  
Perihal : Permohonan Ijin Penelitian, dengan ini kami beritahukan bahwa kami  
dapat menerima mahasiswa/siswa Saudara :

No.	NAMA	NIM	JURUSAN
1.	Lutfi Intan Anggraeni	1314030103	Statistika

Untuk melakukan Penelitian di PT Semen Gresik,  
di Bureau of Process Control Pabrik Tuban dengan ketentuan sbb :

1. Setiap mahasiswa/siswa yang melakukan Penelitian harus diikutsertakan dalam Asuransi Kecelakaan oleh Institusi ybs.
2. Penelitian dilaksanakan mulai tanggal 01 Maret 2017 s.d. 15 Maret 2017
3. Perusahaan tidak menyediakan sarana akomodasi (penginapan) & transportasi.
4. Mahasiswa/siswa tersebut di atas diharapkan kehadirannya pada :
  - Hari/Tanggal : Rabu, 01 Maret 2017
  - Pukul : 07.30 WIB sd. Selesai
  - Tempat : Gedung Auditorium Lt.2 Kantor Pusat PT Semen Gresik Tuban  
Desa Sumberarum, Kecamatan Kerek, Kabupaten Tuban
  - Acara : Pengarahan dari Perusahaan & Penyerahan Perlengk. Administrasi
  - Membawa :
    1. Foto Copy Kartu Tanda Pelajar/Mahasiswa (KTP) sebanyak 1 (satu) lembar.
    2. Foto Copy Polis Asuransi Kecelakaan Kerja/Kesehatan sebanyak 1 (satu) lembar.
    3. Pas foto berwarna ukuran 2x3 sebanyak 2 (dua) lembar.

Demikian atas perhatian Saudara kami sampaikan terima kasih.

Tuban, 16 Februari 2017  
PT Semen Gresik  
An. Direksi,  
Ka. Bina Pengembangan SDM  
  
**AMIN BUDI HARTANTO, ST.**

**Lampiran B. Surat Pernyataan Pengambilan Data****SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, mahasiswa jurusan Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS :

Nama : Lutfi Intan Anggraeni

NRP : 1314 030 103

Menyatakan bahwa data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini merupakan data primer yang diambil dari Penelitian/Buku/Tugas Akhir/Thesis/Publikasi\*) yaitu :

Sumber : PT Semen Gresik

Keterangan : *Blaine, Mesh, SO<sub>3</sub>* pada bulan Januari 2017

Surat pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya. Apabila terdapat pemalsuan data, maka saya siap menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Mengetahui  
Pembimbing Tugas Akhir

Surabaya, 20 Juni 2017

(Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, MT)  
NIP. 19610311 198701 2 001

(Lutfi Intan Anggraeni)  
NRP. 1314 030 103

**Lampiran C. Data Analisis****Lampiran C1.Data Proses Produksi Semen PPC Bulan Januari  
2107**

subgrup	Blaine	Mesh	S03	subgrup	Blaine	Mesh	S0 <sub>3</sub>
1	379	89,59	4,6	6	348	92,41	6,1
	378	89,61	3,3		386	92,03	4,4
	375	89,88	3,8		385	92,23	5,7
	373	89,28	4,1		341	94,10	4,3
	360	89,63	4,2		378	92,05	6,3
2	366	91,01	4,2	7	389	94,37	4,9
	358	89,51	4,3		381	91,01	4,5
	375	91,09	4		364	92,93	4,3
	368	92,65	6,9		394	92,05	4,5
	372	91,18	6,3		387	93,08	4,6
3	357	91,43	5,4	8	374	95,68	5,5
	378	91,19	5,6		375	95,51	4,5
	371	90,81	6,9		366	94,89	4,7
	376	90,94	5,2		397	94,79	4,9
	372	90,08	4,9		381	95,04	5,3
4	370	90,28	5,3	9	400	93,98	3,8
	343	89,45	4,3		365	93,66	4,7
	340	89,14	6		363	92,32	4,9
	378	91,26	5,5		371	94,92	4,5
	375	93,00	4,9		338	93,87	8
5	409	92,22	4,8	10	366	94,48	4,6
	368	92,31	3,8		362	94,18	4,5
	370	85,58	4,6		364	93,39	6,9
	368	92,13	5,1		363	95,30	6,2
	367	92,74	5,3		337	94,72	4,77

Lampiran C2. Lanjutan Data Proses Produksi Semen PPC Bulan  
Januari 2017

Subgrup	Blaine	Mesh	S <sub>03</sub>	subgrup	Blaine	Mesh	S <sub>03</sub>
11	381	94,69	4,7	16	361	92,05	6
	373	90,93	5,7		377	94,37	6,1
	368	92,32	6,8		395	91,01	5,1
	372	90,56	6,3		385	92,93	6,8
	355	95,04	3,8		387	92,05	6,6
12	359	93,98	4,1	17	361	93,08	4,6
	356	93,66	4,6		361	95,68	4,8
	340	92,32	5,5		362	95,51	4,7
	351	90,56	4,7		367	94,89	6,4
	349	95,04	4,2		359	94,79	5,6
13	369	89,81	6,6	18	357	95,04	5,1
	364	90,09	4,6		349	93,98	5,4
	360	91,57	4,2		365	93,66	5,2
	364	88,73	6		376	92,32	6
	373	91,30	5,9		353	94,92	5,7
14	383	88,88	5,1	19	355	93,87	5,6
	394	81,03	4,2		349	94,48	6,9
	375	85,52	5,6		345	94,18	5,8
	374	89,92	5,4		371	93,39	6,3
	375	94,19	6,7		355	95,30	6,8
15	384	85,34	6,2	20	332	94,72	4,5
	399	89,39	4,8		371	94,69	5,5
	362	94,24	5,3		368	90,93	5,2
	388	90,17	5,7		352	92,32	4,8
	337	93,57	6,3		347	90,56	4



Lampiran C3. Lanjutan Data Proses Produksi Semen PPC Bulan  
Januari 2017

subgrup	Blaine	Mesh	S0 <sub>3</sub>	subgrup	blaine	mesh	S0 <sub>3</sub>
21	350	91,72	3,8	26	352	85,52	3,2
	360	90,69	4,9		331	89,92	6,92
	354	90,93	4		338	94,19	5,08
	348	92,32	3,4		352	85,34	3,6
	382	90,56	3,8		372	89,39	3,96
22	380	95,04	6,2	27	356	94,24	4,5
	348	93,98	6,4		352	93,87	6,6
	362	93,66	4,3		370	94,48	4,2
	345	92,65	5,1		356	94,18	5
	354	90,18	4,7		372	93,39	4,4
23	346	93,43	5,2	28	350	95,30	6,2
	344	92,19	5,1		321	94,72	6,5
	346	90,81	4,5		329	94,69	4,18
	352	85,94	4,4		343	94,72	6
	336	84,97	5,2		345	94,69	5
24	337	90,28	5,2	29	355	90,93	6,08
	355	89,45	4		336	92,32	6,8
	374	89,14	4,4		338	90,56	5,74
	377	91,26	3,4		349	95,04	6,06
	374	92,22	4,4		367	93,98	4,76
25	323	92,31	6,7	30	349	93,66	4,2
	327	85,58	4,88		326	95,68	4,1
	332	92,13	4,2		347	95,51	5,72
	337	92,74	6,22		363	94,89	5,3
	355	92,41	6,3		347	94,79	5,16

Lampiran C4. Lanjutan Data Proses Produksi Semen PPC Bulan  
Januari 2017

subgrup	Blaine	Mesh	SO <sub>3</sub>	Subgrup	Blaine	Mesh	SO <sub>3</sub>
31	354	95,04	4,2	36	355	90,35	5,9
	352	93,98	6,4		363	89,70	6,55
	360	93,66	5,42		399	90,44	5,8
	340	92,32	3,65		362	90,47	5,3
	374	94,92	4		388	90,84	5,7
32	425	89,59	6	37	363	89,65	4,6
	380	88,61	6,2		364	89,80	6,4
	394	85,88	5,1		372	90,67	6,7
	370	85,28	4,5		318	90,58	4,2
	369	88,63	3,6		337	90,74	6,6
33	361	94,01	6,1	38	374	90,41	4,3
	345	89,59	4,26		422	89,20	6,6
	354	88,61	3,92		365	90,54	6,2
	355	85,88	5,05		362	90,37	4,4
	347	85,28	4,15		357	89,45	6,4
34	364	88,63	5,2	:	:	:	:
	341	94,01	4,1		:	:	:
	356	89,31	4,8		:	:	:
	360	90,32	4,3		:	:	:
	367	84,12	4,2		:	:	:
35	367	85,27	4,9	93	367	90,57	6,1
	413	87,56	4		366	89,76	6,5
	359	91,89	4,8		364	90,17	8,1
	412	88,45	4,9		363	90,12	7,8
	365	90,58	5,81		359	89,28	6,9

Keterangan:

Subgrup yang digunakan adalah shift dimana sehari ada tiga shift yaitu shift pagi, shift siang, dan shift malam dan anggota subgrup sebanyak 5 karena perusahaan sehari melakukan pengambilan sampel sebanyak 5 kali.

**Lampiran D. Data Proses Produksi Semen PPC Bulan  
Januari 2017 berdasarkan *Shift* Kerja**

**Lampiran D1. Data Proses Produksi Semen PPC Bulan Januari  
2017 pada *Shift* Pagi**

subgrup	Blaine	Mesh	S03	subgrup	Blaine	Mesh	S0 <sub>3</sub>
1	379	89,59	4,6	16	361	92,05	6
	378	89,61	3,3		377	94,37	6,1
	375	89,88	3,8		395	91,01	5,1
	373	89,28	4,1		385	92,93	6,8
	360	89,63	4,2		387	92,05	6,6
4	370	90,28	5,3	19	355	93,87	5,6
	343	89,45	4,3		349	94,48	6,9
	340	89,14	6		345	94,18	5,8
	378	91,26	5,5		371	93,39	6,3
	375	93	4,9		355	95,3	6,8
7	389	94,37	4,9	22	380	95,04	6,2
	381	91,01	4,5		348	93,98	6,4
	364	92,93	4,3		362	93,66	4,3
	394	92,05	4,5		345	92,65	5,1
	387	93,08	4,6		354	90,18	4,7
10	366	94,48	4,6	:	:	:	:
	362	94,18	4,5		:	:	:
	364	93,39	6,9		:	:	:
	363	95,3	6,2		:	:	:
	337	94,72	4,8		:	:	:
13	369	89,81	6,6	91	354	91,3	5,9
	364	90,09	4,6		355	88,88	6,9
	360	91,57	4,2		367	90,03	6,3
	364	88,73	6		354	90,52	5,5
	373	91,3	5,9		368	89,92	6,1

Lampiran D2. Data Proses Produksi Semen PPC Bulan Januari  
2017 pada *Shift* Siang

Subgrup	Blaine	Mesh	S03	subgrup	Blaine	Mesh	S0 <sub>3</sub>
2	366	91,01	4,2	17	361	93,08	4,6
	358	89,51	4,3		361	95,68	4,8
	375	91,09	4		362	95,51	4,7
	368	92,65	6,9		367	94,89	6,4
	372	91,18	8,3		359	94,79	5,6
5	409	92,22	4,8	20	332	94,72	4,5
	368	92,31	3,8		371	94,69	5,5
	370	85,58	4,6		368	90,93	5,2
	368	92,13	5,1		352	92,32	4,8
	367	92,74	5,3		347	90,56	4
8	374	95,68	5,5	23	346	93,43	5,2
	375	95,51	4,5		344	92,19	5,1
	366	94,89	4,7		346	90,81	4,5
	397	94,79	4,9		352	85,94	4,4
	381	95,04	5,3		336	84,97	5,2
11	381	94,69	4,7	:	:	:	:
	373	90,93	5,7		:	:	:
	368	92,32	8,8		:	:	:
	372	90,56	6,3		:	:	:
	355	95,04	3,8		:	:	:
14	383	88,88	5,1	92	374	90,19	7,3
	394	81,03	4,2		368	90,34	3,9
	375	85,52	5,6		369	89,39	4,8
	374	89,92	5,4		352	90,24	4,6
	375	94,19	6,7		368	90,17	7,6

Lampiran D3. Data Proses Produksi Semen PPC Bulan Januari  
2017 pada Shift Malam

Subgrup	Blaine	Mesh	S03	subgrup	Blaine	Mesh	S0 <sub>3</sub>
3	357	91,43	7,8	18	357	95,04	5,1
	378	91,19	5,6		349	93,98	5,4
	371	90,81	6,9		365	93,66	5,2
	376	90,94	5,2		376	92,32	6
	372	90,08	4,9		353	94,92	5,7
6	348	92,41	6,1	21	350	91,72	3,8
	386	92,03	4,4		360	90,69	4,9
	385	92,23	5,7		354	90,93	4
	341	94,1	4,3		348	92,32	3,4
	378	92,05	6,3		382	90,56	3,8
9	400	93,98	3,8	24	337	90,28	5,2
	365	93,66	4,7		355	89,45	4
	363	92,32	4,9		374	89,14	4,4
	371	94,92	4,5		377	91,26	3,4
	338	93,87	8		374	92,22	4,4
12	359	93,98	7,1	:	:	:	:
	356	93,66	4,6		:	:	:
	340	92,32	5,5		:	:	:
	351	90,56	4,7		:	:	:
	349	95,04	4,2		:	:	:
15	384	85,34	6,2	93	367	90,57	6,1
	399	89,39	4,8		366	89,76	6,5
	362	94,24	5,3		364	90,17	8,1
	388	90,17	5,7		363	90,12	7,8
	337	93,57	6,3		359	89,28	6,9

## Lampiran E. Pemeriksaan Distribusi Multivariat Normal

### Lampiran E1. Program *Macro* Pemeriksaan Normal Multivariat

```

multinom.test<-function(X){

#####

#input X adalah matrix berukuran n x p

#####

X<-as.data.frame(X)

mu<-colMeans(X)

S<-cov(X)

invS<-solve(S)

d<-matrix(rep(0,nrow(X)),nrow(X),1)

eval<-matrix(rep(0,nrow(X)),nrow(X),1)

q<-qchisq(0.5,ncol(X)) #menghitung titik kritis

#menghitung jarak dan mengevaluasinya terhadap titik
kritis

for (i in 1:nrow(X)){

d[i]<-as.numeric(t(X[i,]-
mu))%*%(invS)%*%as.numeric(X[i,]-mu)

    ifelse(d[i]<=q,eval[i]<-1,eval[i]<-0)

}

```

Lampiran E2. *Output* Pemeriksaan Distribusi Multivariat Normal Data  
Fase I

```
> multinom.test(data)
$chisquared
[1] 2.365974
$proportion
[1] 0.5505376
```

Lampiran E3. Nilai  $\mathbf{d}_i^2$  setiap observasi

Sampel ke-	$\mathbf{d}_i^2$	Sampel ke-	$\mathbf{d}_i^2$
1	1.85812170	26	1.27039962
2	4.26444948	27	3.22790766
3	2.80215171	28	1.93569666
4	2.32655903	29	4.18415907
5	1.87735144	30	0.91955122
6	1.53308306	31	5.10379012
7	1.86027183	32	2.07957865
8	2.31056460	33	1.94773185
9	0.90682535	34	4.58518189
10	2.20754476	35	3.78209553
11	1.61547322	36	4.32274683
12	0.74352814	37	5.00492131
13	0.36180434	38	3.28472917
14	0.79302843	39	7.43262753
15	0.86807667	40	4.31170459
16	0.39561238	41	8.89374412
17	3.42022506	42	1.98198580
18	2.89878272	43	0.90364387
19	0.80983829	44	3.83844823
20	1.81462943	45	5.49548808
21	8.26621527	46	2.92039536
22	2.58389474	47	2.64161179
23	5.25233132	48	1.37885372
24	0.72760443	49	3.11489970
25	0.85644675	50	4.80647220

Lampiran E4.Lanjutan Nilai  $d_i^2$  setiap observasi

Sampel ke-	$d_i^2$	Sampel ke-	$d_i^2$
51	4.38404364	83	3.98728737
52	0.29324502	84	2.72947237
53	3.61172603	85	2.47953149
54	0.15754291	86	3.05556045
55	4.70254321	87	2.24208487
56	2.14385425	88	1.53837610
57	2.15759171	89	0.87173117
58	2.38022518	90	2.82510650
59	1.47288941	91	1.66745349
60	4.38811806	92	3.07045899
61	0.24594751	93	2.73732170
62	1.05418419	94	1.28668409
63	1.60089528	95	3.55259543
64	0.66923852	96	5.98975662
65	0.29157135	97	2.71042145
66	1.96766394	98	0.38037307
67	17.86801470	99	1.41537695
68	4.40800620	100	2.87723008
69	0.57321632	101	2.85125034
70	2.51497158	102	0.68145569
71	5.01674486	103	2.17227769
72	4.88428053	104	3.95547512
73	1.98334427	105	3.39448033
74	1.85227889	106	3.95384762
75	3.52794938	107	2.35347865
76	0.27985819	108	2.44340909
77	2.72917113	109	1.98573006
78	3.65531672	110	1.31416381
79	2.50601837	:	:
80	2.11655058	:	:
81	1.63446481	464	1.31536839
82	4.11733185	465	0.80763734



## Lampiran F. Uji Independensi Antar Variabel

### Lampiran F1. Hasil *Output Software* Uji Independensi

#### KMO and Bartlett's Test

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.533
Approx. Chi-Square		14.594
Bartlett's Test of Sphericity	Df	3
	Sig.	.002

### Lampiran F2. Hasil Perhitungan Manual Uji Independensi

$$\text{Matriks } S = \begin{bmatrix} 297,4542 & -6,59574 & 2,079629 \\ -6,59574 & 6,7000129 & -0,2742 \\ 2,079629 & -0,2742 & 2,375551 \end{bmatrix} :$$

$$r_{12} = \frac{S_{12}}{\sqrt{S_{11}}\sqrt{S_{22}}} = \frac{-6,59574}{17,24686 * 2,588} = -0,14774$$

$$r_{13} = \frac{S_{13}}{\sqrt{S_{11}}\sqrt{S_{33}}} = \frac{2,079629}{17,24686 * 1,541282} = 0,078234$$

$$r_{23} = \frac{S_{23}}{\sqrt{S_{22}}\sqrt{S_{33}}} = \frac{-0,2742}{2,588461 * 1,541282} = -0,06873$$

$$\text{Matriks } R = \begin{bmatrix} 1 & -0,14774 & 0,078234 \\ -0,14774 & 1 & -0,06873 \\ 0,078234 & -0,06873 & 1 \end{bmatrix} \quad |R| = 0,968916$$

$$\text{Ln } |R| = -0,03158$$

$$\begin{aligned} \chi^2 &= - \left[ n - 1 - \frac{2p + 5}{6} \right] \ln |R| \\ &= - \left[ 464 - \left( \frac{11}{6} \right) \right] * (-0,03158) \\ &= 14,59399 \end{aligned}$$

**Lampiran G.** *Output Software* Homogenitas matriks varian kovarian

Box's Test of Equality of Covariance Matrices <sup>a</sup>	
Box's M	12.316
F	1.017
df1	12
df2	1034382.462
Sig.	.430

**Lampiran H.** Uji MANOVA

Lampiran H1. Perhitungan Manual MANOVA

1. Tabel MANOVA

Sumber Variasi	Matriks Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas
Perlakuan	$B = \begin{bmatrix} 5777,630 & -286,509 & -226,895 \\ -286,509 & 14,246 & 11,731 \\ -226,895 & 11,731 & 14,440 \end{bmatrix}$	2
Residual	$W = \begin{bmatrix} 132241,135 & -2773,917 & 1191,843 \\ -2773,917 & 3094,613 & -138,942 \\ 1191,843 & -138,942 & 1087,815 \end{bmatrix}$	462
Total	$B + W = \begin{bmatrix} 138018,95 & -3060,426 & 964,948 \\ -3060,426 & 3109,039 & -127,229 \\ 964,948 & -127,229 & 1102,255 \end{bmatrix}$	464

$$|B + W| = \begin{bmatrix} 138018,95 & -3060,426 & 964,948 \\ -3060,426 & 3109,039 & -127,229 \\ 964,948 & -127,229 & 1102,255 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 138018,95 & -3060,426 \\ -3060,426 & 3109,039 \\ 964,948 & -127,229 \end{bmatrix}$$
$$= 0,00000000004582$$

$$|W| = \begin{bmatrix} 132241,135 & -2773,917 & 1191,843 \\ -2773,917 & 3094,613 & -138,942 \\ 1191,843 & -138,942 & 1087,815 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 132241,135 & -2773,917 \\ -2773,917 & 3094,613 \\ 1191,843 & -138,942 \end{bmatrix}$$
$$= 0,00000000004307$$

***Output Software Multivariate Tests<sup>a</sup>***

Effect		Value	Sig.
Intercept	Pillai's Trace	.999	.000
	Wilks' Lambda	.001	.000
	Hotelling's Trace	1971.483	.000
	Roy's Largest Root	1971.483	.000
	Pillai's Trace	.060	.000
X	<b>Wilks' Lambda</b>	<b>.940</b>	<b>.000</b>
	Hotelling's Trace	.064	.000
	Roy's Largest Root	.060	.000

***Lampiran H2. Output Software Test Between***

Source	Dependent Variable	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	Blaine	2	2888,815	10,092	,000
	Mesh	2	7,123	1,063	,346
	S03	2	7,220	3,066	,048
Intercept	Blaine	1	62082556,234	216892,731	,000
	Mesh	1	3830907,010	571922,487	,000
	S03	1	17285,574	7341,259	,000
X	Blaine	2	2888,815	10,092	<b>,000</b>
	Mesh	2	7,123	1,063	,346
	S03	2	7,220	3,066	<b>,048</b>

### Lampiran I. Peta Kendali *Generalized Variance*

#### Lampiran II. *Output Statistik Peta Generalized Variance Shift* Pagi

No.	GV	BAK	BKB
1	0,582	4035	0
2	96,961	4035	0
3	2,428	4035	0
4	199,020	4035	0
5	6,212	4035	0
6	41,254	4035	0
7	74,776	4035	0
8	403,621	4035	0
9	1135,450	4035	0
10	5,301	4035	0
11	222,268	4035	0
12	38,794	4035	0
13	63,758	4035	0
14	10,731	4035	0
15	0,990	4035	0
16	1429,589	4035	0
17	0,551	4035	0
18	177,425	4035	0
19	607,200	4035	0
20	31,571	4035	0
21	699,836	4035	0
22	58,092	4035	0
23	1,289	4035	0
24	6,314	4035	0
25	1,085	4035	0
26	57,339	4035	0
27	3,316	4035	0
28	53,753	4035	0
29	3,059	4035	0
30	268,282	4035	0
31	3,579	4035	0

Lampiran I2. *Output Statistik Peta Generalized Variance Shift*  
Siang

No.	GV	BKA	BKB
1	28,7308	7207	0
2	72,8747	7207	0
3	2,47219	7207	0
4	178,115	7207	0
5	108,392	7207	0
6	9,24536	7207	0
7	38,9023	7207	0
8	22,0504	7207	0
9	2234,6	7207	0
10	46,1194	7207	0
11	1063,75	7207	0
12	1088,92	7207	0
13	123,853	7207	0
14	30,1413	7207	0
15	0,03362	7207	0
16	14,9634	7207	0
17	47,6417	7207	0
18	0,3896	7207	0
19	3,11573	7207	0
20	64,6609	7207	0
21	16,7597	7207	0
22	3,63689	7207	0
23	7,06316	7207	0
24	430,242	7207	0
25	6,41648	7207	0
26	1,83189	7207	0
27	1,68448	7207	0
28	445,919	7207	0
29	2,23353	7207	0
30	2,62698	7207	0
31	20,4886	7207	0

Lampiran I3. *Output Statistik Peta Generalized Variance Shift Malam*

No.	GV	BKA	BKB
1	8,77285	15564	0
2	58,1596	15564	0
3	222,96	15564	0
4	10,0854	15564	0
5	524,409	15564	0
6	28,4623	15564	0
7	3,52871	15564	0
8	94,4781	15564	0
9	4,54335	15564	0
10	2,8096	15564	0
11	55,8113	15564	0
12	2,938	15564	0
13	157,699	15564	0
14	47,184	15564	0
15	610,815	15564	0
16	1969,43	15564	0
17	8256,32	15564	0
18	334,073	15564	0
19	12,827	15564	0
20	610,636	15564	0
21	2071,32	15564	0
22	61,5065	15564	0
23	135,454	15564	0
24	349,293	15564	0
25	571,424	15564	0
26	4,5182	15564	0
27	164,822	15564	0
28	38,0834	15564	0
29	23,5482	15564	0
30	81,9801	15564	0
31	0,44754	15564	0

## Lampiran J. Peta Kendali $T^2$ Hotteling

Lampiran J1. *Output* Statistik Peta Kendali  $T^2$  Hotteling *Shift* Pagi  
Iterasi 1

No.	$T^2$ Hotteling	BAK	BKB
1	35,09	16,33	0
2	5,92	16,33	0
3	43,28	16,33	0
4	7,075	16,33	0
5	5,141	16,33	0
6	14,19	16,33	0
7	10,539	16,33	0
8	7,760	16,33	0
9	18,429	16,33	0
10	42,61	16,33	0
11	22,90	16,33	0
12	17,042	16,33	0
13	3,85	16,33	0
14	2,2187	16,33	0
15	1,89	16,33	0
16	27,902	16,33	0
17	5,53	16,33	0
18	18,2	16,33	0
19	6,307	16,33	0
20	1,46	16,33	0
21	15,16	16,33	0
22	5,5245	16,33	0
23	3,44	16,33	0
24	41,38	16,33	0
25	4,394	16,33	0
26	5,3623	16,33	0
27	9,69	16,33	0
28	14,46	16,33	0
29	17,197	16,33	0
30	12,89	16,33	0
31	0,85	16,33	0

Lampiran J2. *Output* Statistik Peta Kendali  $T^2$  Hotteling *Shift*  
Siang Iterasi 2

No.	$T^2$ Hotteling	BKA	BKB
1	7,228	16,81	0
2	12,18	16,81	0
3	5,95	16,81	0
4	13,065	16,81	0
5	5,64	16,81	0
6	1,527	16,81	0
7	1,90	16,81	0
8	2,35	16,81	0
9	3,78	16,81	0
10	2,35	16,81	0
11	10,747	16,81	0
12	6,16	16,81	0
13	2,16	16,81	0
14	1,69	16,81	0
15	3,13	16,81	0
16	5,638	16,81	0
17	11,96	16,81	0
18	7,538	16,81	0
19	0,65	16,81	0

Lampiran J3. *Output* Statistik Peta Kendali  $T^2$  Hotteling *Shift*  
Siang Iterasi 1

No	$T^2$ Hotteling	BKA	BKB
1	3,8643	16,33	0
2	12,9082	16,33	0
3	36,522	16,33	0
4	7,4626	16,33	0
5	11,418	16,33	0



Lampiran J4. Lanjutan *Output* Statistik Peta Kendali  $T^2$  Hotteling  
Shift Siang Iterasi 1

No.	$T^2$ Hotteling	BKA	BKB
6	16,499	16,33	0
7	17,091	16,33	0
8	21,831	16,33	0
9	21,528	16,33	0
10	11,678	16,33	0
11	20,346	16,33	0
12	13,213	16,33	0
13	2,485	16,33	0
14	5,553	16,33	0
15	13,799	16,33	0
16	10,908	16,33	0
17	11,659	16,33	0
18	3,449	16,33	0
19	13,217	16,33	0
20	0,324	16,33	0
21	0,352	16,33	0
22	0,991	16,33	0
23	13,893	16,33	0
24	8,811	16,33	0
25	3,967	16,33	0
26	16,405	16,33	0
27	31,923	16,33	0
28	7,843	16,33	0
29	15,923	16,33	0
30	14,481	16,33	0
31	1,015	16,33	0

Lampiran J5. *Output* Statistik Peta Kendali  $T^2$  Hotteling Shift  
Siang Iterasi 2

No	$T^2$ Hotteling	BKA	BKB
1	4,4880	16,59	0
2	12,2927	16,59	0

Lampiran J6. Lanjutan *Output* Statistik Peta Kendali  $T^2$  Hotteling  
Shift Siang Iterasi 2

No.	$T^2$ Hotteling	BAK	BKB
3	8,2630	16,59	0
4	10,105	16,59	0
5	13,813	16,59	0
6	11,493	16,59	0
7	1,9268	16,59	0
8	4,56590	16,59	0
9	11,28	16,59	0
10	8,252	16,59	0
11	10,848	16,59	0
12	3,7118	16,59	0
13	11,446	16,59	0
14	0,0754	16,59	0
15	0,654	16,59	0
16	1,47	16,59	0
17	13,3702	16,59	0
18	10,01	16,59	0
19	2,7053	16,59	0
20	7,2776	16,59	0
21	13,005	16,59	0
22	11,678	16,59	0
23	1,558	16,59	0

Lampiran J7. *Output* Statistik Peta Kendali  $T^2$  Hotteling Shift  
Malam Iterasi 1

No	$T^2$ Hotteling	BAK	BKB
1	0,7190	16,33	0
2	5,9071	16,33	0
3	14,0811	16,33	0
4	15,5499	16,33	0
5	1,4389	16,33	0
6	7,8166	16,33	0
7	12,3171	16,33	0

Lampiran J8. Lanjutan *Output* Statistik Peta Kendali  $T^2$  Hotteling  
Shift Malam Iterasi 1

No.	$T^2$ Hotteling	BAK	BKB
8	7,84341	16,33	0
9	17,39472	16,33	0
10	12,77862	16,33	0
11	15,37121	16,33	0
12	0,67774	16,33	0
13	3,26608	16,33	0
14	0,97041	16,33	0
15	16,28944	16,33	0
16	6,30072	16,33	0
17	7,51556	16,33	0
18	17,93024	16,33	0
19	14,86094	16,33	0
20	3,34835	16,33	0
21	0,10660	16,33	0
22	0,43404	16,33	0
23	11,74257	16,33	0
24	4,37256	16,33	0
25	22,70416	16,33	0
26	1,14069	16,33	0
27	4,72550	16,33	0
28	6,60265	16,33	0
29	8,63950	16,33	0
30	0,92677	16,33	0
31	5,55289	16,33	0

Lampiran J9. *Output* Statistik Peta Kendali  $T^2$  Hotelling *Shift*  
Malam Iterasi 2

No.	$T^2$ Hotelling	BAK	BKB
1	0,42761	16,47	0
2	5,93302	16,47	0
3	15,56434	16,47	0
4	14,03321	16,47	0
5	1,85672	16,47	0
6	7,96725	16,47	0
7	10,38386	16,47	0
8	6,96280	16,47	0
9	10,87682	16,47	0
10	0,67267	16,47	0
11	3,16470	16,47	0
12	1,80049	16,47	0
13	8,53641	16,47	0
14	10,67467	16,47	0
15	13,49892	16,47	0
16	5,51963	16,47	0
17	0,38933	16,47	0
18	0,46089	16,47	0
19	10,26180	16,47	0
20	4,22611	16,47	0
21	1,78267	16,47	0
22	4,74204	16,47	0
23	7,61686	16,47	0
24	9,62096	16,47	0
25	1,72821	16,47	0
26	6,70927	16,47	0

## **Lampiran K. Kapabilitas Proses Secara Multivariat**

### **Lampiran K1. Program Kapabilitas Proses Multivariat**

```
macro
cova x.1-x.p
mconstant n i t1 t2 t3 c.1-c.p k2 k chi cp sbaru
mcolumn x.1-x.p b.1-b.p vek.1-vek.315 cm1 sbr
mmatrix am1 am2 am3 ainv am5 am6 mm mtt mvek mvekt s
cm2 cm3 cm4 vo voin
noecho
let n=count(x.1)
define 0 1 1 s
print s
do i=1:p
let b.i=x.i-mean(x.i)
enddo
copy x.1-x.p am1
cova x.1-x.p vo
print vo
inve vo voin
print voin
trans am1 am2
mult am2 am1 am3
inve am3 ainv
print ainv
copy b.1-b.p mm
```

### **Lampiran K2. Lanjutan Program Kapabilitas Proses Multivariat**

```
trans mm mtt
copy mtt vek.1-vek.315
do i=1:n
copy vek.i mvek
trans mvek mvekt
mult mvekt ainv am5
mult am5 mvek am6
add s am6 s
print i s
enddo
print s
copy s sbr
print sbr
copy sbr sbaru
print sbaru
```

### Lampiran K3. Lanjutan Program Kapabilitas Proses Multivariat

```

let t1=365
let t2=82.5
let t3=2.3
let c.1=mean(x.1)-t1
let c.2=mean(x.2)-t2
let c.3=mean(x.3)-t3
print c.1-c.3
copy c.1-c.3 cm1
print cm1
trans cm1 cm2
trans cm2 cm3
print cm2
print cm3
mult cm2 voin cm4
print cm4
mult cm4 cm3 k2
print k2
let k=sqrt(k2)
print k
invcdf 0.9973 chi;
chis p.
print chi
let cp=(k/chi)*sqrt((n-1)*p/sbaru)
print cp
endmacro

```

### Lampiran K4. Hasil Kapabilitas Proses Multivariat shift pagi

#### Data Display

chi      14,1563

#### Data Display

cp      3,90884

Lampiran K5. Hasil Kapabilitas Proses Multivariat shift siang

**Data Display**

chi      14,1563

**Data Display**

cp      3,23746

Lampiran K7. Hasil Kapabilitas Proses Multivariat shift Malam

**Data Display**

chi      14,1563

**Data Display**

cp      4,00038

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Lutfi Intan Anggraeni yang biasa dipanggil Intan. Penulis dilahirkan di Lamongan, 06 Januari 1997 sebagai anak pertama dari dua bersaudara oleh pasangan suami istri, Purwanto Urip dan Sriutami. Penulis telah menempuh pendidikan formal dimulai dari TK Pertiwi II, SDN Yungyang 1 (2002-2007), SMP Negeri 1

Modo (2008-2011), dan SMA Negeri 1 Babat (2012- 2014). Setelah lulus dari SMA, penulis melanjutkan studinya di Diploma III Statistika Bisnis ITS Surabaya yang juga merupakan keluarga besar “*PIONEER*”, Σ01.066 . Pada tahun pertama, penulis bergabung dengan satu Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) yaitu KOPMA. Penulis juga pernah menjadi bagian *Organizing Committe* Kegiatan Gerigi, Intern Fmipa, dan PRA-TD pada tahun 2015. Pada akhir semester 4, penulis mendapatkan kesempatan pengalaman Kerja Praktek di PT. Semen Gresik (Persero) Tbk pabrik Tuban. Segala kritik dan saran akan diterima oleh penulis untuk perbaikan kedepannya. Jika ada keperluan atau ingin berdiskusi dengan penulis dapat dihubungi melalui email [intan.lutfi28@gmail.com](mailto:intan.lutfi28@gmail.com).



